普通高中课程标准实验教科书

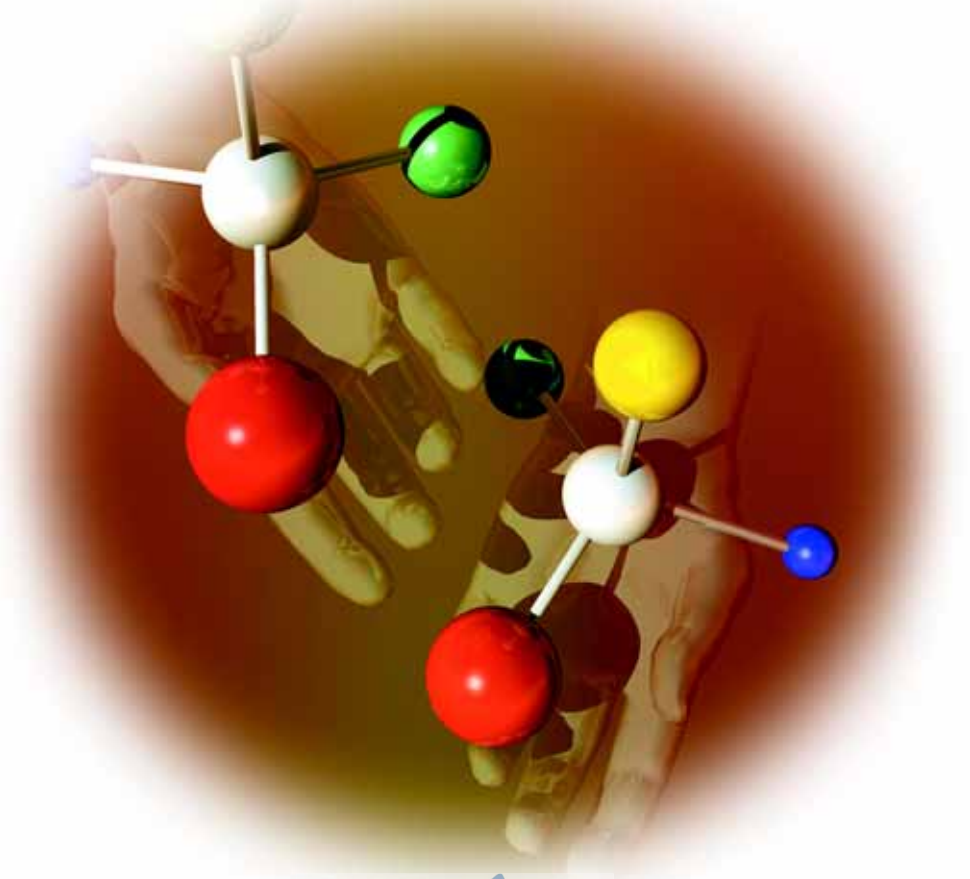
化学

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

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

责任编辑　刘宗寅　宋德万　郑淑娟　邱赛琳
封面设计　董小眉

著作权所有・请勿擅自用本书制作各类出版物・违者必究
如有编校及印装质量等问题，请与山东科学技术出版社联系
联系人：何慧颖　　电话：（0531）82098082



致同学们

欢迎同学们选修有机化学基础课程模块。

在人类已知的化合物中，有机化合物占了绝大多数。天然的有机化合物广泛存在于人类居住的地球上，使地球充满生机与活力。数以千万计的人工合成的有机化合物极大地丰富了我们的物质世界，满足了日益增长的社会需要。当今，有机化合物的应用已深入到人类生产和生活的各个领域，因此学习有机化学的基础知识对提高同学们的科学素养有着重要意义。

《有机化学基础》教材突出“结构决定性质”这一主线，着力建立有机化合物的结构、性质、合成及应用之间的整体联系。教材采用基本理论与物质性质两条线索融合并进的编排方式，将概念和原理知识的学习与有机化合物性质、合成与应用知识的学习有机地结合起来，设置了三章内容：“有机化合物的结构与性质　烃”“官能团与有机化学反应　烃的衍生物”“有机合成及其应用　合成高分子化合物”。教材充分利用官能团体系框架，选择典型的、在自然界中广泛存在的、在生产和生活中有着重要用途的有机化合物为研究对象组织探究学习。教材特意编写“有机合成及其应用　合成高分子化合物”一章，旨在引导同学们初步理解有机合成的基本思路和方法，凸显有机化学的创造价值。

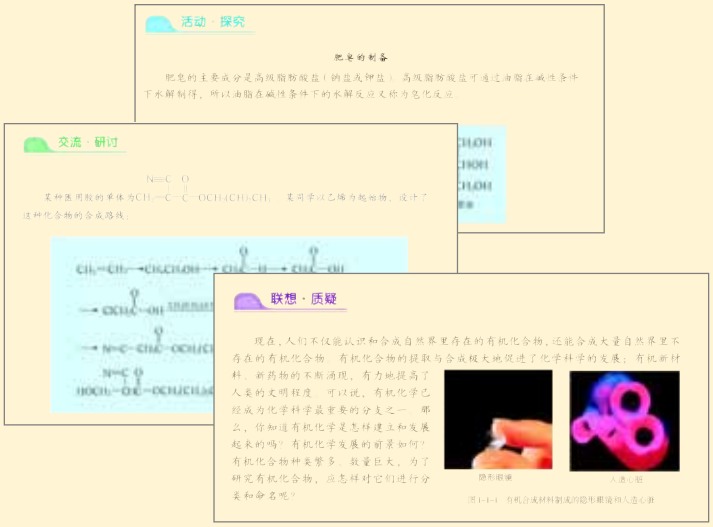


本教材第一章以烃为载体，引导同学们初步形成对有机化合物结构特点的认识，并了解结构特点与性质的关系；第二章以烃的衍生物为载体，揭示官能团与有机化学反应之间的关系，引导大家进一步理解结构与性质的关系，并通过对反应类型的讨论轻松地掌握众多的有机反应；第三章结合典型案例，介绍合成有机化合物的基本思路和方法，引导大家整合和应用有关官能团和各类有机化学反应的知识，并通过对高分子化合物的探究学习进一步了解有机合成的应用。教材为同

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

学们搭建了科学合理的认识阶梯，构建了合理的内容结构和知识体系，使大家能够更深刻地体会有机化学知识的内在联系。

本教材保留了《化学1（必修）》和《化学2（必修）》中的“联想·质疑”“观察·思考”“活动·探究”“交流·研讨”“方法导引”“迁移·应用”等活动性栏目，以及“知识支持”“资料在线”“身边的化学”等资料性栏目；另外，本教材还设置了“追根寻源”“拓展视野”等栏目，引导同学们从不同的视角丰富对有机化学的认识。其中，通过“联想·质疑”等栏目建立与化学必修课程模块的密切联系，充分利用同学们已有的经验和知识组织新的探索学习；利用“知识支持”等栏目提供必要的有机化合物结构与反应原理方面的知识，引导大家认识本课程模块与其他课程模块既相互独立又彼此联系的关系。





希望同学们在老师的指导下，将基于讨论和探究的学习与课外自主阅读教材的学习相互结合起来，以取得更好的学习效果。本教材是同学们学习有机化学的好帮手，必将引导更多的同学热爱有机化学、研究有机化学。

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

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

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

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

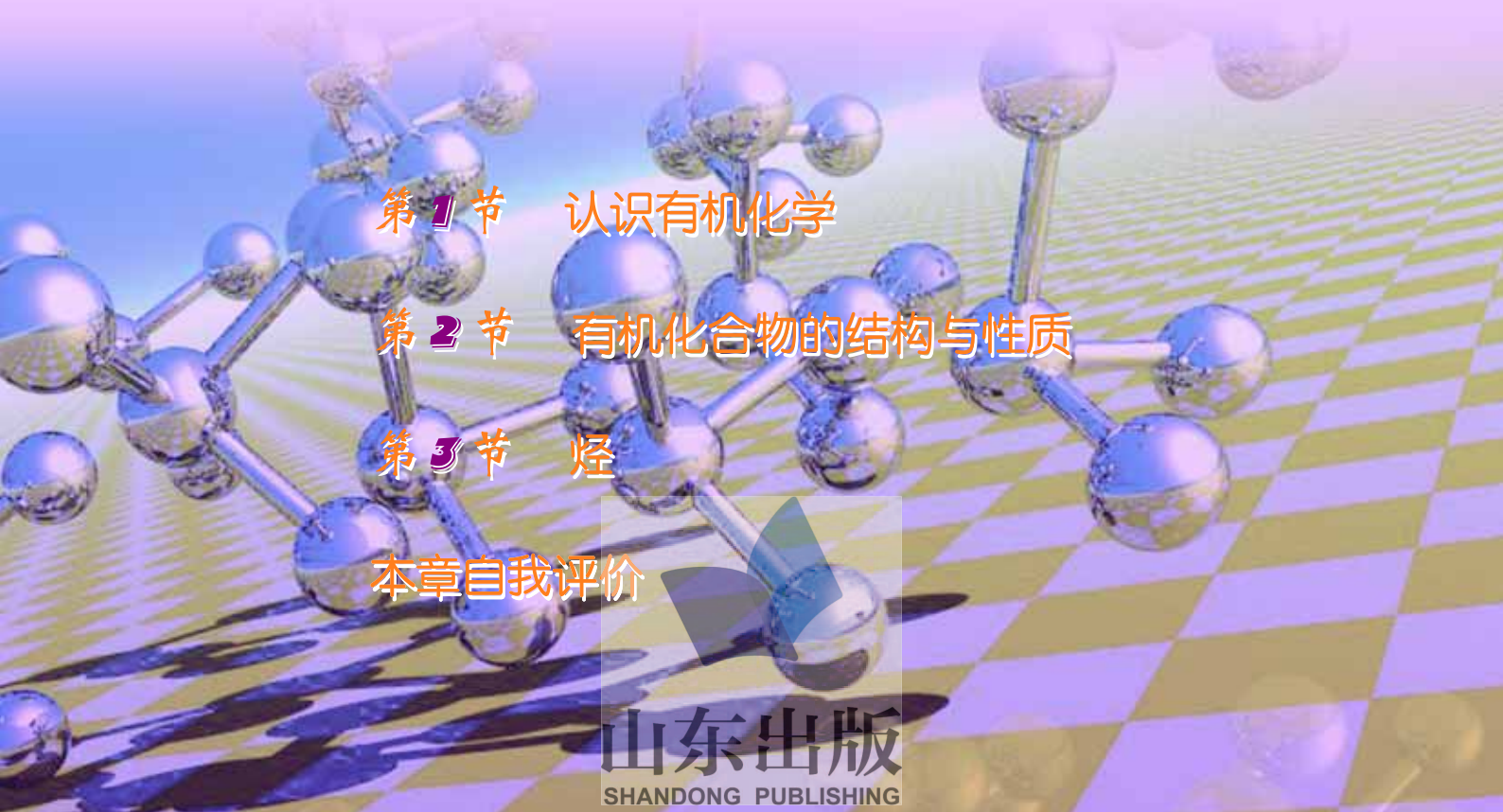
山东出版
SHANDONG PUBLISHING

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

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

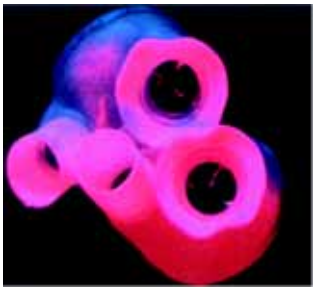
第 1 节　认识有机化学

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

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

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。

资料在线

酒石酸、苹果酸和奎宁

酒石酸（$C_4H_6O_6$）主要以钾盐的形式存在于葡萄等多种果实中；苹果酸（$C_4H_6O_5$）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（$C_{20}H_{24}N_2O_2$）存在于金鸡纳树皮中，是最早被人类使用的特效抗疟剂。

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。

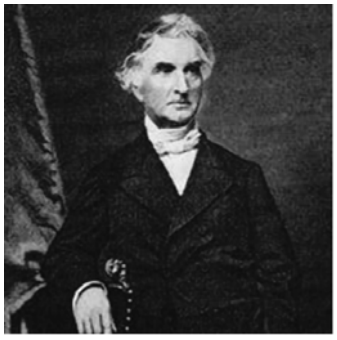


图1-1-2 德国化学家 李比希（J.Liebig，1803–1878）

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[$CO(NH_2)_2$]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_{12}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。

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

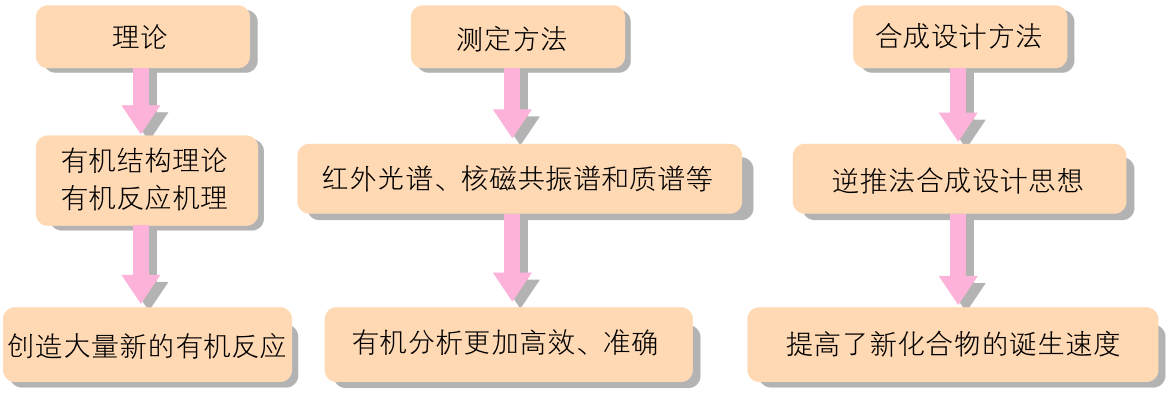


图 1-1-3　20 世纪有机化学发展示意图

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。

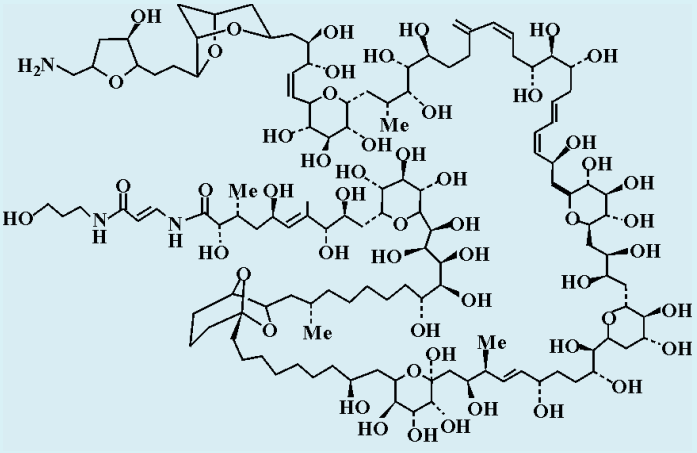


图 1-1-4　海葵毒素的结构简式

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。

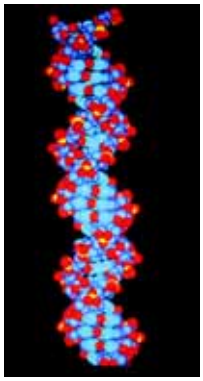


图 1-1-5　DNA 的双螺旋结构

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

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

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。

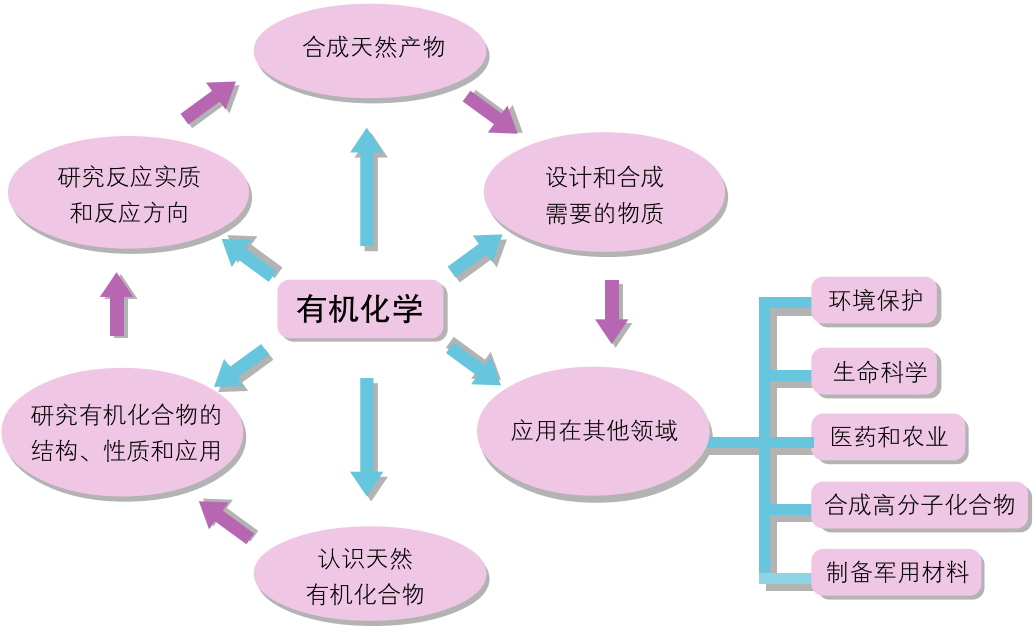


图 1–1–6　有机化学应用示意图

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，设计可与最好的酶相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。

……

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

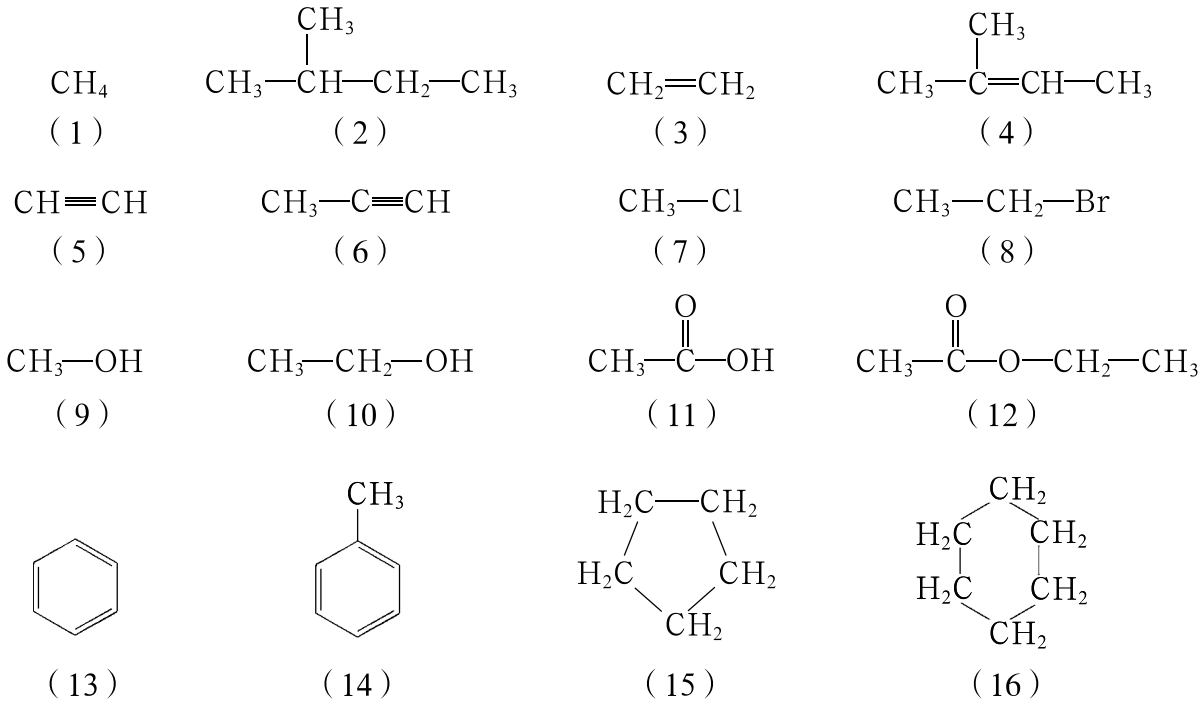
二、有机化合物的分类和命名

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

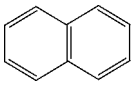
下面列出了16种有机化合物的结构简式，请与同学们讨论，尝试从不同角度对它们所代表的物质进行分类。



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

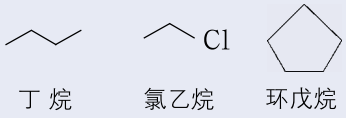
对于有机化合物，可以从不同的角度进行分类。根据组成中是否有碳、氢以外的元素，分为烃和烃的衍生物；根据分子中碳骨架的形状，分为链状有机化合物和环状有机化合物；根据分子含有的特殊原子或原子团（官能团），分为烯烃、炔烃、芳香烃、卤代烃、醇、酚、醛、酮、羧酸、酯等。

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

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、环已烷等。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（$CH_3—CH_2—CH_3$）；分子中碳原子间有碳碳双键的称为**烯烃**（alkene），如乙烯、丙烯（$CH_3—CH═CH_2$）；分子中碳原子间有碳碳叁键的称为**炔烃**（alkyne），如乙炔（$CH≡CH$）、丙炔（$CH_3—C≡CH$）。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（）、环已烷（）。

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：



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。

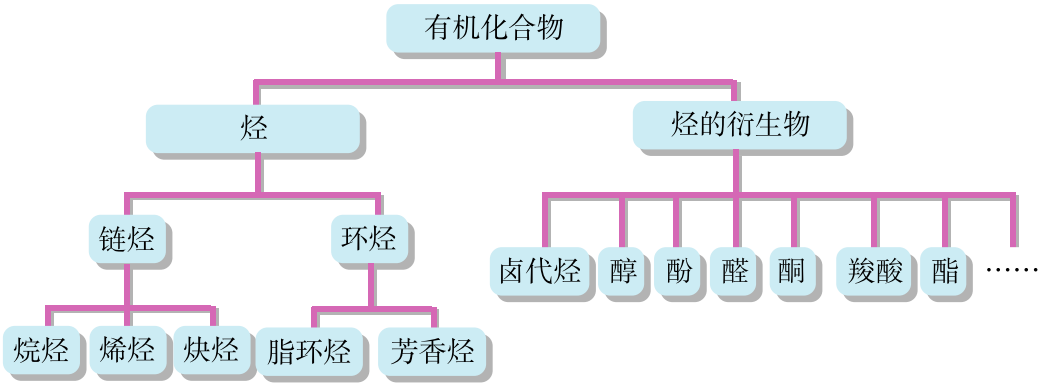
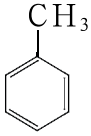
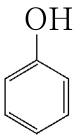
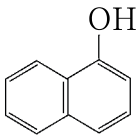
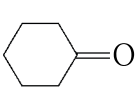


图1-1-7 常见有机化合物的分类

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(−Cl)，乙烯分子含有的碳碳双键（$\rangle C═C\langle$），乙醇分子含有的羟基（−OH）和乙醛分子含有的醛基（$-\overset{O}{\overset{\|}{C}}—H$）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。

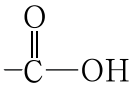
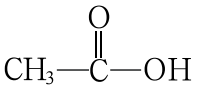
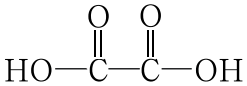
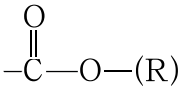
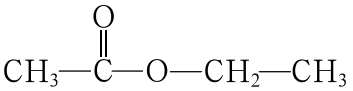
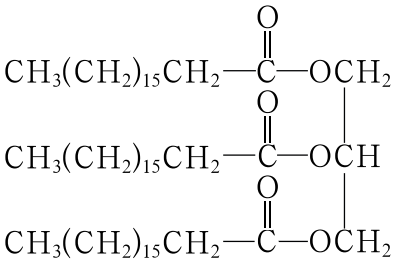
山东出版
SHANDONG PUBLISHING

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_4 甲烷	$CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{\vert}{CH}}-CH_2-CH_3$ 2-甲基丁烷
	烯烃	$>C=C<$ 碳碳双键		$CH_2=CH_2$ 乙烯	$CH_3-CH=\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{\vert}{CH}}-CH-CH_3$ 4-甲基-2-戊烯
	炔烃	$-C\equiv C-$ 碳碳叁键		$CH\equiv CH$ 乙炔	$CH_3-C\equiv C-CH_3$ 2-丁炔
	芳香烃	—		 苯	 甲苯
烃的衍生物	卤代烃	$-X$ 卤素原子		CH_3-I 碘甲烷	CH_3-CH_2-Br 溴乙烷
	醇	$-OH$ （醇）羟基		CH_3-CH_2-OH 乙醇	$\underset{\displaystyle OH}{\underset{\vert}{CH_2}}-\underset{\displaystyle OH}{\underset{\vert}{CH}}-\underset{\displaystyle OH}{\underset{\vert}{CH_2}}$ 丙三醇（甘油）
	酚	$-OH$ （酚）羟基		 苯酚	 萘酚
	醛	$-\overset{\displaystyle O}{\overset{\Vert}{C}}-$ 羰基	$-\overset{\displaystyle O}{\overset{\Vert}{C}}-H$ 醛基	$H-\overset{\displaystyle O}{\overset{\Vert}{C}}-H$ 甲醛	$CH_3-\overset{\displaystyle O}{\overset{\Vert}{C}}-H$ 乙醛
	酮		$-\overset{\displaystyle O}{\overset{\Vert}{C}}-$ 酮羰基	$CH_3-\overset{\displaystyle O}{\overset{\Vert}{C}}-CH_3$ 丙酮	 环己酮

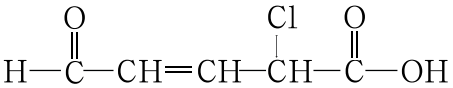
山东出版
SHANDONG PUBLISHING

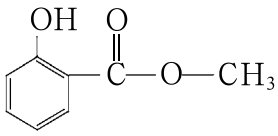
续表

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	 羧基	 乙酸	 乙二酸
	酯	 酯基	 乙酸乙酯	 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 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(CH_4)、乙烷(C_2H_6)、丙烷(C_3H_8)、丁烷(C_4H_{10}) …… 分子中只有一个碳碳双键的烯烃同系列：乙烯(C_2H_4)、丙烯(C_3H_6)、丁烯(C_4H_8)、戊烯(C_5H_{10}) ……

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

2. 有机化合物的命名

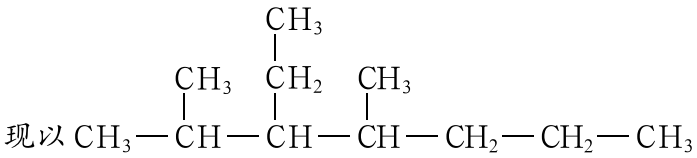
对于种类繁多、数量巨大的有机化合物来说，命名问题十分重要。在有机化学中广泛采用系统命名法对有机化合物进行命名。

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，$CH_3(CH_2)_3CH_3$ 称为戊烷，$CH_3(CH_2)_{14}CH_3$ 称为十六烷。

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

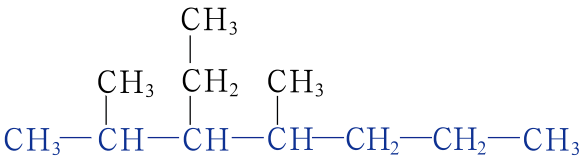
对于分子中有支链的烷烃来说，采用系统命名法命名时要经过选主链、定编号、写名称等步骤。

交流·研讨

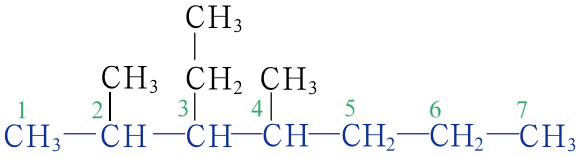


现以 $CH_3-\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}-\underset{\underset{CH_3}{|}}{\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}}-\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}-CH_2-CH_2-CH_3$ 为例，学习这类烷烃的系统命名法。

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。

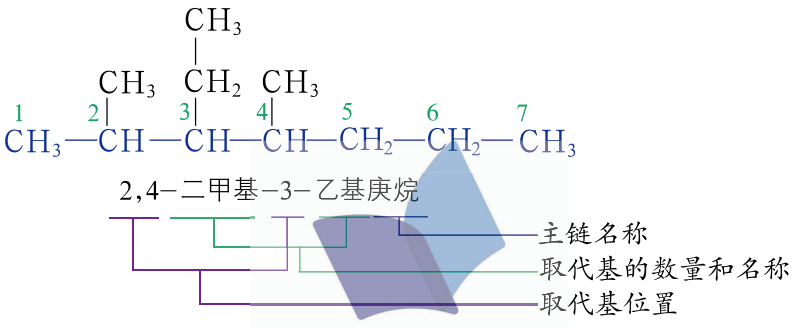


2．定编号　从距离取代基最近的一端开始，用阿拉伯数字给主链的碳原子依次编号以确定取代基的位置。



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：



知识支持

取代基

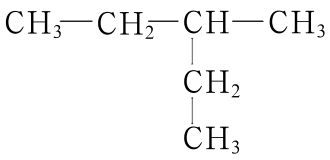
连接在有机化合物分子中主链上的原子或原子团称为取代基。烃分子去掉一个或多个氢原子之后剩余的部分称为烃基。其中，烷烃分子去掉一个或多个氢原子之后剩余的基团称为烷基。常见的烷基有：

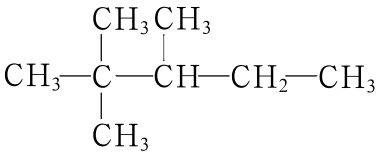
CH_3-	甲基
CH_3CH_2-	乙基
$CH_3CH_2CH_2-$	丙基
$CH_3\underset{\underset{CH_3}{\|}}{CH}-$	异丙基
$CH_3CH_2CH_2CH_2-$	丁基
$CH_3\underset{\underset{CH_3}{\|}}{CH}CH_2-$	异丁基
$CH_3CH_2\underset{\underset{CH_3}{\|}}{CH}-$	仲丁基
$CH_3-\underset{\underset{CH_3}{\|}}{\overset{\overset{CH_3}{\|}}{C}}-$	叔丁基
$CH_3-\underset{\underset{CH_3}{\|}}{\overset{\overset{CH_3}{\|}}{C}}-CH_2-$	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。

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

请结合上例与同学们交流研讨，给以下烷烃命名。



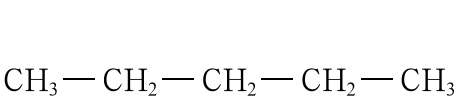


资料在线

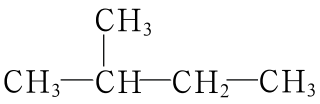
系统命名法的由来

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。

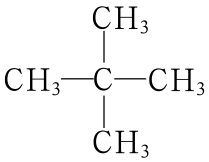
除了系统命名法外，人们也用习惯命名法来命名分子结构相对简单的烷烃。例如，分子式为C_5H_{12}的烷烃的三种同分异构体用习惯命名法分别命名为：



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上相似，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。

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

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（　　）。

A．$CH_3-CH_2-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH_2}}-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH_2}}$

戊烷

B．$CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_2-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_2-CH_3$

2,4–甲基己烷

C．$CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{\underset{|}{C}}}}-CH_3$

2,2–二甲基丙烷

D．$CH_3-CH_2-\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{CH}}}-CH_3$

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．$(CH_3)_3CCH(CH_3)_2$　　B．$(CH_3)_3CCH_2C(CH_3)_3$

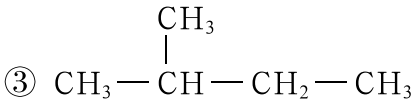
C．$(CH_3)_3CC(CH_3)_2CH_2CH_3$　　D．$(CH_3)_3CC(CH_3)_3$

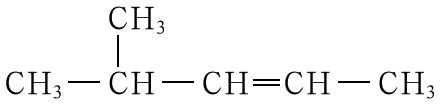
山东出版 SHANDONG PUBLISHING

2．分析下列有机化合物的结构简式，完成填空并回答问题。

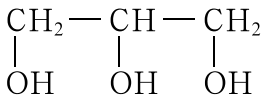
① $CH_3CH_2CH_2CH_2CH_3$

② C_2H_5OH

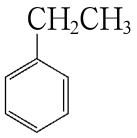
③ 

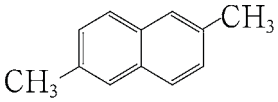
④ 

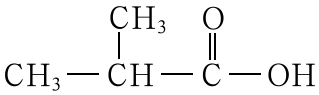
⑤ 

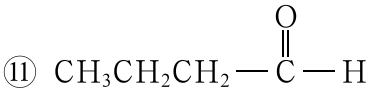
⑥ 

⑦ $CH_3CH_2CH_3$

⑧ 

⑨ 

⑩ 

⑪ 

⑫ $CH_3CHBrCH_3$

（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 _____；

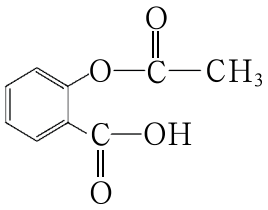
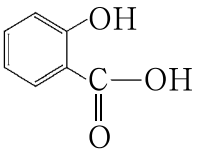
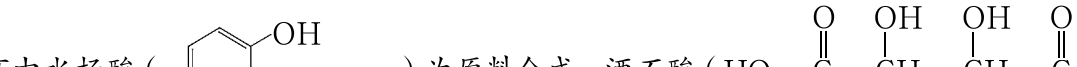
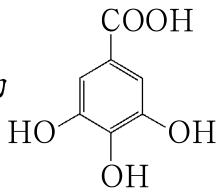
属于醇的是 _____；

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。

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

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（）、苹果酸（）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。

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

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。

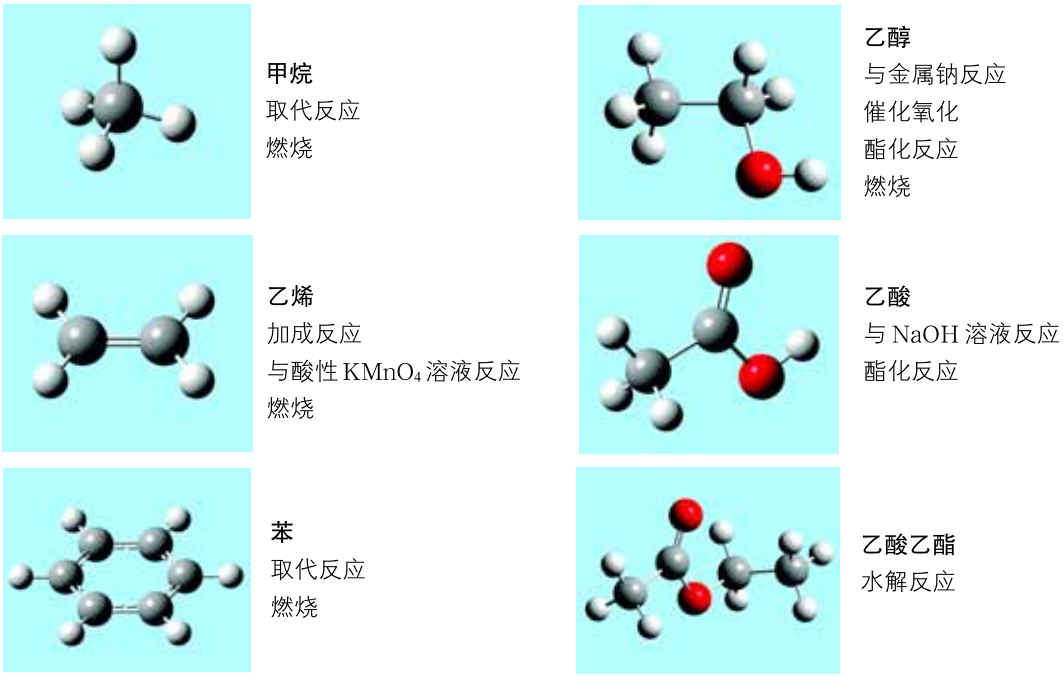


图 1–2–1　几种有机化合物的球棍模型及所能发生的主要反应

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。

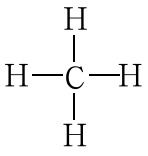
有机化合物的结构是以分子中碳原子结合成的碳骨架为基础的，所以研究有机化合物的结构首先应研究碳原子的成键方式。

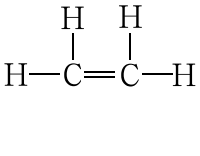
山东出版
SHANDONG PUBLISHING

一、碳原子的成键方式

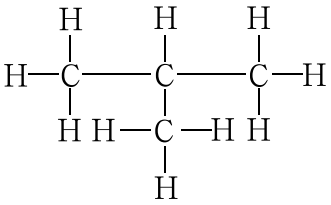
交流·研讨

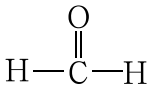
下面是一些有机化合物的结构式或结构简式。


甲烷


乙烯

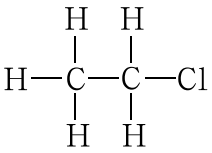

乙炔


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：

1．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？

2．各有机化合物分子中碳原子的成键数目分别是多少？

3．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。

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

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°，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。

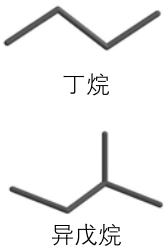


图 1–2–2　丁烷和异戊烷的折线形碳链模型

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°。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°，乙炔分子是直线形分子。



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（$\diagup\!\!\diagdown C{=}O$），碳原子与氮原子能形成叁键（$-C{\equiv}N$）。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：

$$CH_2{=}CH_2 + Br_2 \longrightarrow CH_2Br{-}CH_2Br$$

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。

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

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^{-1}	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。

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

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	H_3C-H　H_3C-OH H_3C-Cl　H_3C-Br	H_3C-CH_3　　$H-H$
双　键	$\begin{matrix}CH_3\\ \diagdown\\ \quad C=O\\ \diagup\\ CH_3\end{matrix}$	$H_2C=CH_2$
叁　键	$CH_3-C\equiv N$	$HC\equiv CH$　　$N\equiv N$

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。

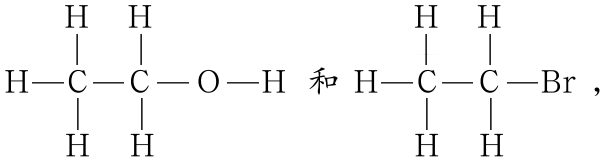
H 2.1						
Li 1.0	Be 1.5	B 2.0	C 2.5	N 3.0	O 3.5	F 4.0
Na 0.9	Mg 1.2	Al 1.5	Si 1.8	P 2.1	S 2.5	Cl 3.0
K 0.8						Br 2.8
Rb 0.8						I 2.5

图 1-2-4　某些元素的电负性数值

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

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  和 ，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。

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

1. $CH_3—CH_2—CH═CH_2$
1–丁烯

$CH_3—CH═CH—CH_3$
2–丁烯

2. $CH_3—CH_2—CH_2—OH$
1–丙醇

$CH_3—\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}—CH_3$
2–丙醇

3. $CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—CH_3$
戊烷

$CH_3—\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}—CH_2—CH_3$
2–甲基丁烷

4. $CH_2═CH—CH═CH_2$
1,3–丁二烯

$CH_3—CH_2—C≡CH$
1–丁炔

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。

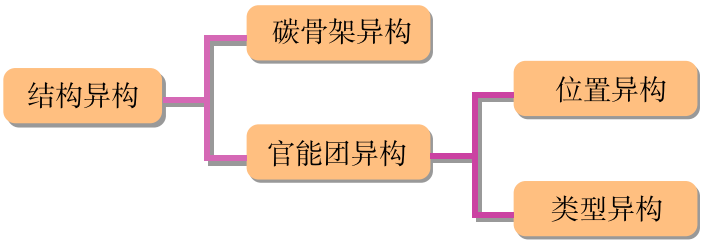


图1–2–5　结构异构的表现形式示意图

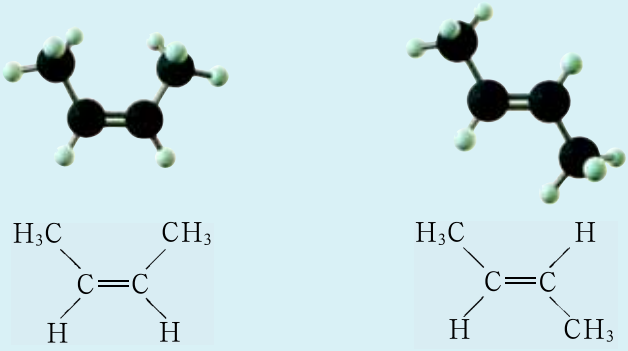
拓展视野

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。

山东出版
SHANDONG PUBLISHING



顺-2-丁烯　　反-2-丁烯

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（$CH_3CHOHCOOH$）分子有如下两种光学异构体。

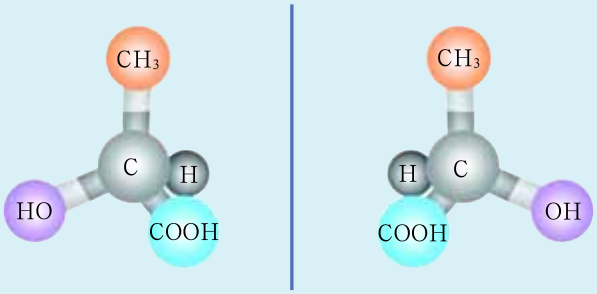


图 1-2-7　乳酸的一对光学异构体的模型

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。

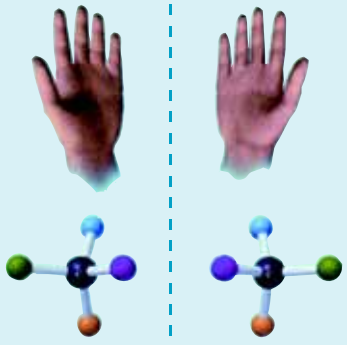


图 1-2-8　手性与手性分子

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。

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

交流·研讨

乙酸（CH_3COOH）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（$-COOH$）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$\diagdown C=C \diagup$键、$-C\equiv C-$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（$-OH$），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℃～60℃，而甲苯在约30℃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（$-OH$），但在乙酸分子中羟基与$CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-$相连，而在乙醇分子中羟基与$CH_3-CH_2-$相连，因此乙酸和乙醇的化学性质有所不同；醇和酚

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

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。

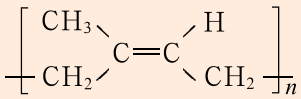
身边的化学

同分异构现象与物质性能的关系

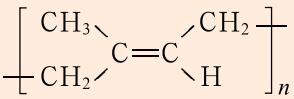
互为同分异构体的有机化合物，其反应活性不完全相同，各种性能通常也不一样，可以利用一些异构体的特殊性能来服务于人类的生产和生活。

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。

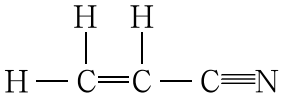
一种官能团决定着一类有机化合物的化学特性。通常，可从键的极性、碳原子的饱和程度来分析官能团的特点并进一步预测有机化合物的性质。此外，分子中某些相邻基团间的相互影响会使有机化合物具有某些特性。

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。

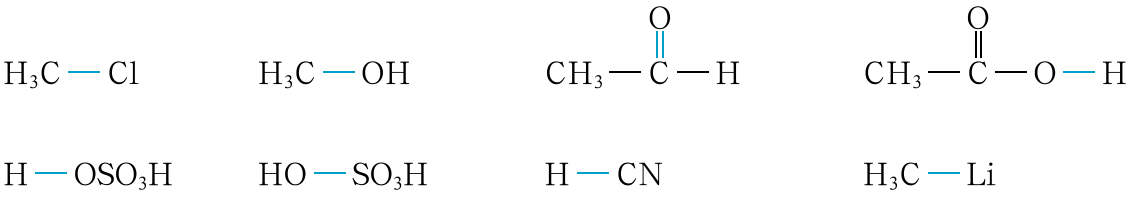
山东出版
SHANDONG PUBLISHING

练　习

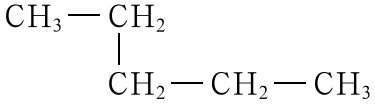
1．依据成键两原子间共用电子的对数可将共价键分为_____、_____和_____。由此，请指出丙烯腈分子中各共价键的类型。丙烯腈的结构式为：

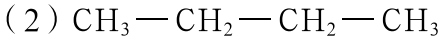


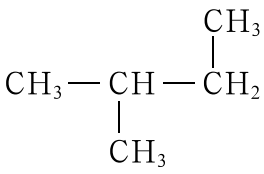
2．用部分正电荷（δ^+）和部分负电荷（δ^-）描述下列化合物中指定化学键（蓝色）的极性，如 $\overset{\delta^+}{H}-\overset{\delta^-}{Cl}$。

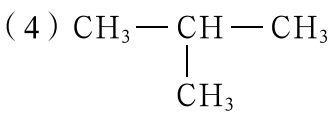


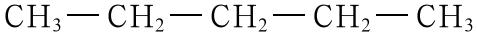
3．下列有机化合物中，互为同分异构体的组合有_____（写出编号即可）。

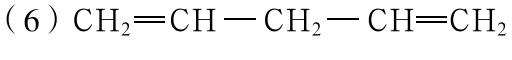
（1）

（2）

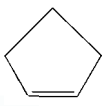
（3）

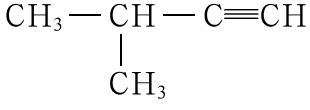
（4）

（5）

（6）

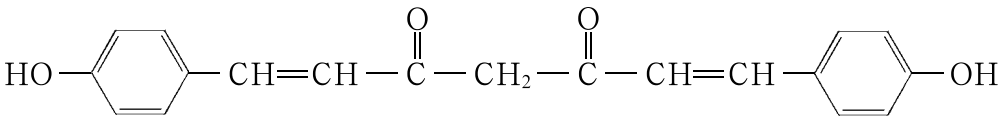
（7）

（8）

（9）

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

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。

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

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。

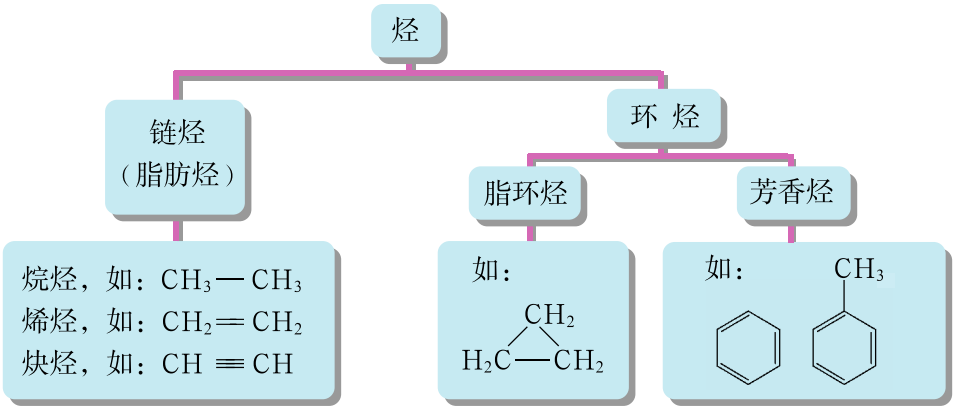


图 1–3–1　烃的分类

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			

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

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。

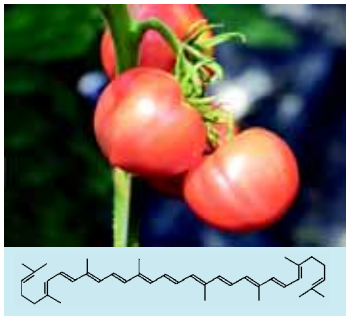
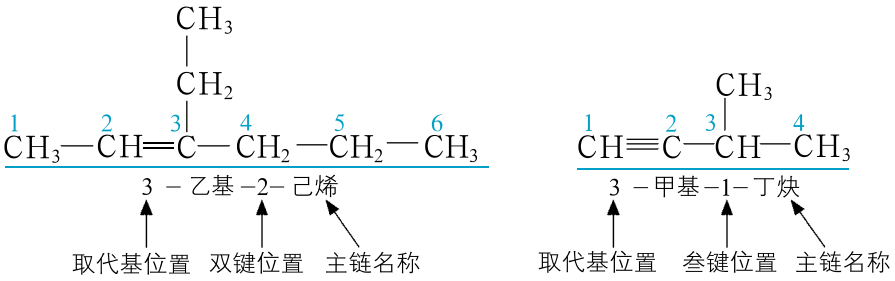
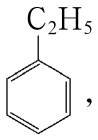
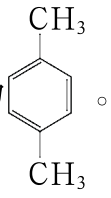


图1–3–2 番茄中存在番茄红素

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，乙苯的结构简式为 ，对二甲苯的结构简式为 。

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

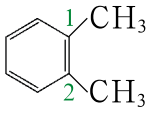
资料在线

“芳香”的含义

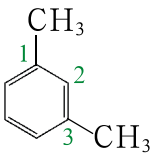
分子中含有苯环的化合物最早是在具有挥发性和香味的树脂以及其他具有芳香气味的物质中发现的，因而将此类有机化合物称为芳香族化合物。芳香烃是芳香族化合物中的一大类。后来发现的许多化合物，就其结构而言应属于芳香族化合物，但它们并无芳香气味。因此，现在虽然仍使用“芳香”一词，但并不表示芳香族化合物都具有芳香气味，而是特指它们的结构中都有苯环。

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

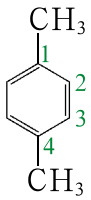
分别被多个取代基取代时，取代基的位置可用“邻”“间”或“对”来表示。例如，二甲苯的三种同分异构体的名称分别为：



邻二甲苯



间二甲苯



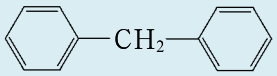
对二甲苯

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。

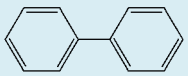
拓展视野

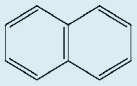
多环芳烃

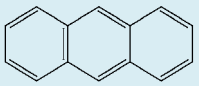
分子中有多个苯环的芳香烃称为多环芳烃。多环芳烃分子中的苯环有着不同的连接方式。例如，在二苯甲烷分子中苯环通过脂肪烃基连接在一起，在联苯分子中苯环通过碳碳单键直接相连，在萘和蒽分子中苯环分别通过共用两个碳原子并合在一起。

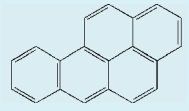


二苯甲烷（$C_{13}H_{12}$）


联苯（$C_{12}H_{10}$）


萘（$C_{10}H_8$）


蒽（$C_{14}H_{10}$）

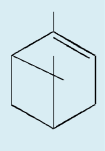
像萘和蒽这样，通过两个或多个苯环的并合而形成的芳香烃，常称为稠环芳烃。许多稠环芳烃具有强的致癌作用。焚烧秸秆、树叶等物质形成的烟雾以及香烟的烟雾中都存在多种有害的稠环芳烃，如苯并芘。

脂环烃

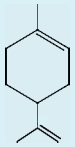
烃家族中有一大类化合物，其分子中的碳原子连接成环状而又无苯环。这类烃在化学性质上与脂肪烃类似，称为脂环烃。这类环状结构的烃分子中，碳原子彼此之间可完全以单键相连，也可以含有碳碳双键或碳碳叁键，它们分别称为环烷烃、环烯烃和环炔烃。

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

脂环烃在自然界中广泛存在，如松节油中的α－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。



α－蒎烯的键线式

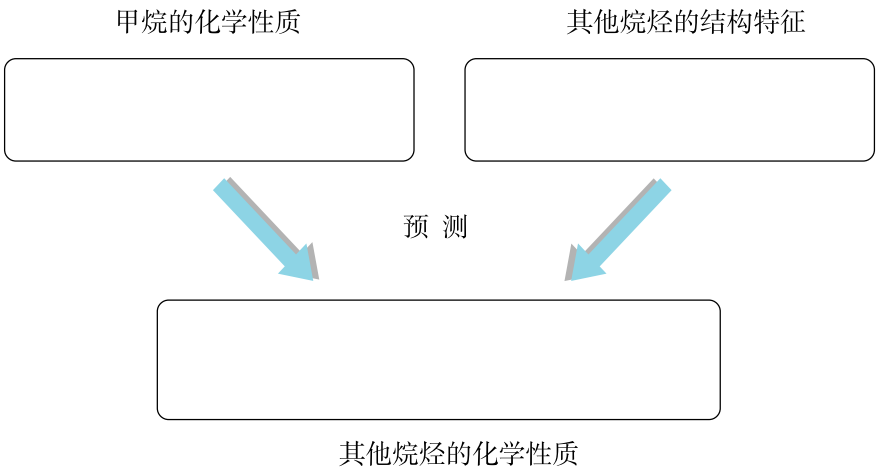


柠檬烯的键线式

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。



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。

$$CH_3CH_3 + Cl_2 \xrightarrow{h\nu} CH_3CH_2Cl + HCl$$

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

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）。

$$Cl\cdot + CH_4 \longrightarrow \cdot CH_3 + HCl$$

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。

$$\cdot CH_3 + Cl{-}Cl \longrightarrow CH_3Cl + Cl\cdot$$

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。

$$Cl\cdot + Cl\cdot \longrightarrow Cl_2$$

$$\cdot CH_3 + Cl\cdot \longrightarrow CH_3Cl$$

$$\cdot CH_3 + \cdot CH_3 \longrightarrow CH_3{-}CH_3$$

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。

$$CH_3Cl + Cl\cdot \longrightarrow \cdot CH_2Cl + HCl$$

$$\cdot CH_2Cl + Cl{-}Cl \longrightarrow CH_2Cl_2 + Cl\cdot$$

……

$$\cdot CCl_3 + Cl{-}Cl \longrightarrow CCl_4 + Cl\cdot$$

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（$CH_3CH_2CH_2Cl$）和2－氯丙烷（$CH_3CHClCH_3$）两种。

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

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：

$$C_nH_{2n+2}+\frac{3n+1}{2}O_2 \xrightarrow{\text{点燃}} nCO_2+(n+1)H_2O$$

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 $KMnO_4$ 溶液退色，这是乙烯被酸性 $KMnO_4$ 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 $KMnO_4$ 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 $KMnO_4$ 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 $KMnO_4$ 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

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

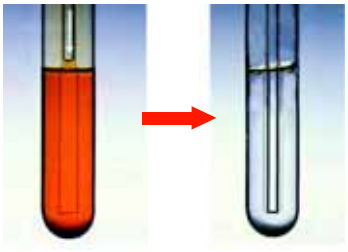


图 1–3–4　乙炔与溴的四氯化碳溶液的反应

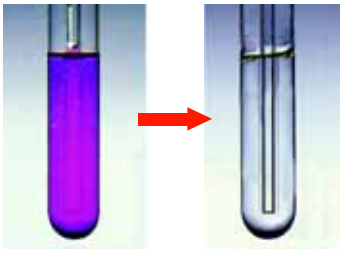


图 1–3–5　乙炔与酸性 $KMnO_4$ 溶液的反应

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。

$$H{-}C{\equiv}C{-}H + Br_2 \longrightarrow \underset{\displaystyle Br\ \ Br}{H{-}C{=}C{-}H}$$

1,2–二溴乙烯

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。

$$CH_3{-}CH{=}CH_2 + Br_2 \longrightarrow \underset{\displaystyle Br\quad Br}{CH_3{-}CH{-}CH_2}$$

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：

$$CH_3{-}CH{=}CH_2 + H_2 \xrightarrow{\text{催化剂}} CH_3{-}CH_2{-}CH_3$$

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

与氢卤酸发生加成反应

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。

$$CH{\equiv}CH + HCl \xrightarrow[\triangle]{\text{催化剂}} \underset{\text{氯乙烯}}{CH_2{=}CHCl}$$

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。

$$n CH_3CH{=}CH_2 \xrightarrow{\text{引发剂}} \underset{\text{聚丙烯}}{\left[\begin{array}{l} CH_3 \\ | \\ CH-CH_2 \end{array}\right]_n}$$

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。

$$n CH{\equiv}CH \xrightarrow{\text{引发剂}} \underset{\text{聚乙炔}}{\left[CH{=}CH\right]_n}$$

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。

$\underset{\text{1,3−丁二烯}}{CH_2{=}CH-CH{=}CH_2}$　　$\underset{\text{1,3−戊二烯}}{CH_2{=}CH-CH{=}CH-CH_3}$

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。

$$\overset{1}{CH_2}{=}\overset{2}{CH}-\overset{3}{CH}{=}\overset{4}{CH_2} + Br_2 \longrightarrow \begin{cases} \underset{\text{3,4−二溴−1−丁烯}}{CH_2(Br)-CH(Br)-CH{=}CH_2} \\ \underset{\text{1,4−二溴−2−丁烯}}{CH_2(Br)-CH{=}CH-CH_2(Br)} \end{cases}$$

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

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 $KMnO_4$ 溶液的反应

将乙炔通入盛有酸性 $KMnO_4$ 溶液的试管中，可以观察到酸性 $KMnO_4$ 溶液逐渐退色，这是乙炔被酸性 $KMnO_4$ 溶液氧化的缘故。

$$CH{\equiv}CH \xrightarrow{\text{酸性 } KMnO_4 \text{ 溶液}} CO_2 + H_2O$$

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 $KMnO_4$ 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 $KMnO_4$ 溶液氧化碳碳双键或碳碳叁键可以减短碳链。

迁移·应用

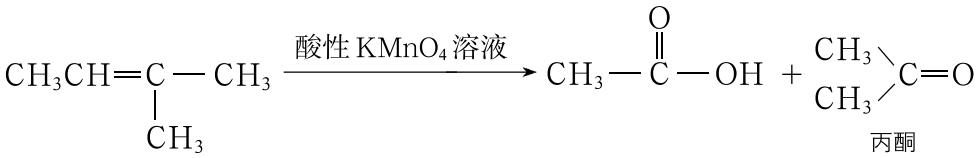
烯烃与酸性 $KMnO_4$ 溶液反应时，不同的结构可以得到不同的氧化产物。烯烃被氧化的部分与氧化产物的对应关系见表1-3-1。

表1-3-1　烯烃与酸性 $KMnO_4$ 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	$CH_2{=}$	$RCH{=}$	$R'\diagdown C{=}\diagup R''$
氧化产物	$[H-C(=O)-OH]$ → CO_2、H_2O	$R-C(=O)-OH$	$R'\diagdown C{=}O\ (\text{酮})\diagup R''$

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

例如，2－甲基－2－丁烯被酸性 $KMnO_4$ 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_5H_{10}，它与酸性 $KMnO_4$ 溶液反应后得到的产物为乙酸（CH_3COOH）和丙酸（CH_3CH_2COOH），你能推测出此烯烃的结构吗？若与酸性 $KMnO_4$ 溶液反应后得到的产物是二氧化碳和丁酮（$CH_3CH_2—\overset{\overset{O}{\|}}{C}—CH_3$），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 $KMnO_4$ 溶液氧化，苯的同系物能否被氧化？

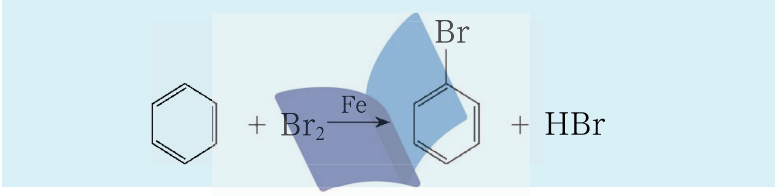
苯不能与溴水发生加成反应，那么，苯的同系物能否与溴水发生加成反应？

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。

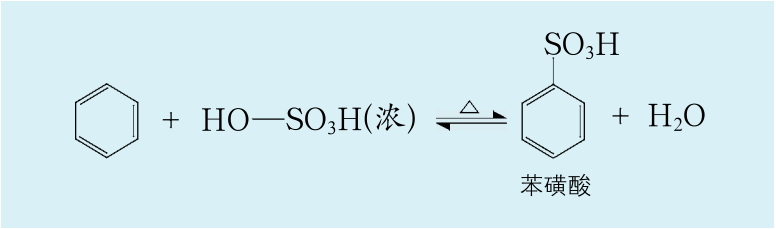
1. 与卤素单质、硝酸、浓硫酸的取代反应

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。



山东出版
SHANDONG PUBLISHING

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（$-SO_3H$）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$-SO_3^-$，易溶于水，称为亲水基（或憎油基）。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。

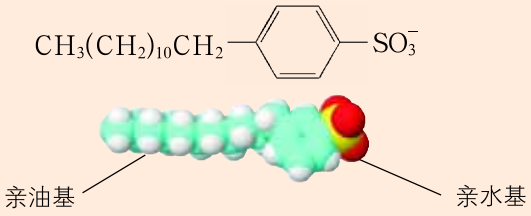
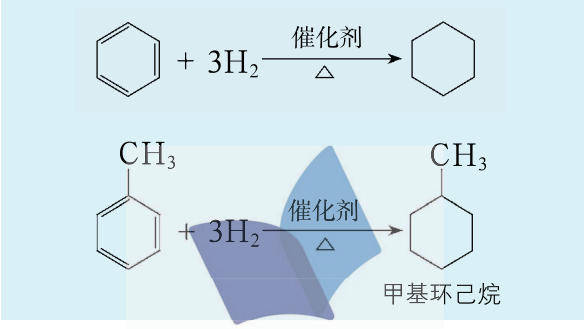


图 1-3-6　十二烷基苯磺酸根离子的亲油基和亲水基示意图

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。



山东出版
SHANDONG PUBLISHING

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 $KMnO_4$ 溶液的反应

苯不能使酸性 $KMnO_4$ 溶液退色，但苯的同系物可以使酸性 $KMnO_4$ 溶液退色。

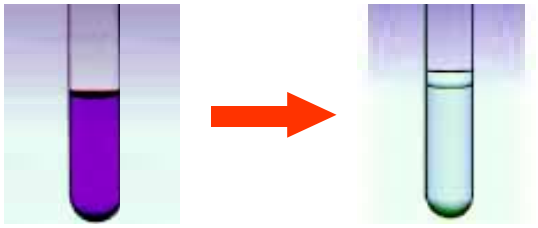


图 1-3-7　甲苯与酸性 $KMnO_4$ 溶液反应

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 $KMnO_4$ 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 $KMnO_4$ 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。

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

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。

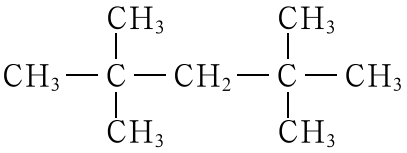
烷烃可以与卤素单质发生取代反应，能够燃烧。甲烷、丙烷等烷烃是工农业生产和人们生活中的重要燃料。

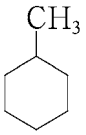
烯烃和炔烃分子中有不饱和碳原子。烯烃和炔烃能够燃烧，可以与卤素单质、氢卤酸、氢气等发生加成反应，并能被酸性$KMnO_4$溶液氧化。烯烃能发生聚合反应。乙炔在一定条件下发生聚合反应可生成聚乙炔。

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$KMnO_4$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）

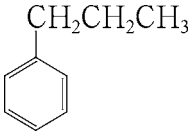
（1）

（2）

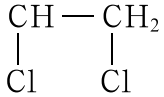
（3）$CH_3C{\equiv}CCH_3$

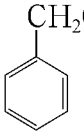
（4）

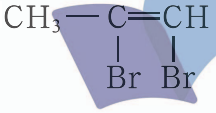
（5）$CH_3CH{=}CHCH_2CH_2CH_3$

（6）

2．根据所学的知识填写下列空白。

（1）$CH_3CH{=}CH_2$ + （　　）⟶ 

（2） $\xrightarrow{\text{酸性 } KMnO_4 \text{ 溶液}}$ （　　）

（3）（　　）+ Br_2 ⟶ 

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

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．$CH{\equiv}CH$　　B．$CH_2{=}CH_2$

C．$CH{\equiv}C{-}CH_3$　　D．$CH_2{=}C(CH_3)_2$

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$C_{11}H_{20}$，1 mol该烃在催化剂作用下可以吸收2 mol H_2；用酸性$KMnO_4$溶液氧化，得到丁酮（$CH_3{-}\overset{\overset{O}{\|}}{C}{-}CH_2CH_3$）、丙酮（$CH_3{-}\overset{\overset{O}{\|}}{C}{-}CH_3$）和琥珀酸（$HO{-}\overset{\overset{O}{\|}}{C}{-}CH_2CH_2{-}\overset{\overset{O}{\|}}{C}{-}OH$）三者的混合物。该烃的结构简式为(　　)。

A．$CH_3CH_2\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}{=}CHCH_2CH_2CH{=}\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}{-}CH_3$

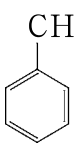
B．$CH_3CH_2\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}HCH_2CH{=}CHCH_2\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}HCH_3$

C．$CH_3CH_2\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}{=}CHCH{=}CHCH{=}\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}{-}CH_3$

D．$CH_3CH{=}\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}CH_2CH_2CH_2CH_2\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}{=}CH_2$

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C_6H_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C_6H_6的一种含叁键且无支链的链烃的结构简式：_____。

（2）苯乙烯（）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

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

环己烷，这说明_____。

（3）苯不像烯烃那样容易被酸性$KMnO_4$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_8H_{10}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$KMnO_4$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。

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

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

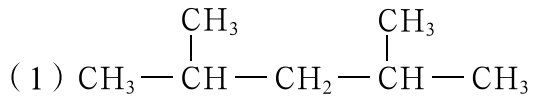
4．以下有机化合物可能与列出的哪些试剂发生反应？如下例所示，请根据所学知识将有机化合物和能与之发生反应的试剂配对，将结果填写在空白处，并写出相应的反应现象或反应产物。

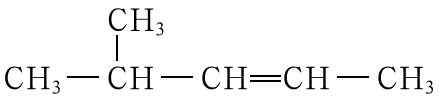
物质	试剂
① 乙烷	A．酸性$KMnO_4$溶液
② 2-丁烯	B．溴的四氯化碳溶液
③ 甲苯	
④ 丙炔	C．氢气/催化剂

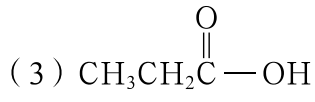
有机化合物的序号	试剂的序号	反应现象或反应产物
示例：②	B	$CH_3-\underset{\underset{Br}{\vert}}{CH}-\underset{\underset{Br}{\vert}}{CH}-CH_3$

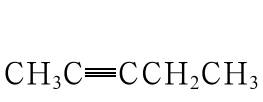
山东出版
SHANDONG PUBLISHING

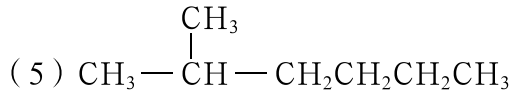
5．请给下面列出的有机化合物分类，指出哪些有机化合物互为同分异构体，给属于链烃的有机化合物命名。

（1）

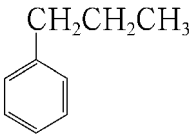
（2）

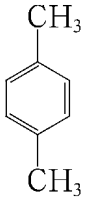
（3）

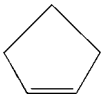
（4）

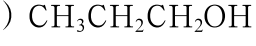
（5）

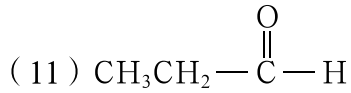
（6）

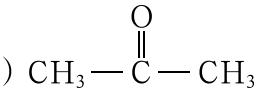
（7）

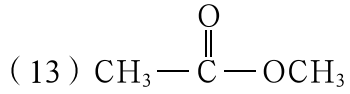
（8）

（9）

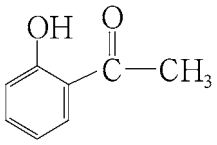
（10）

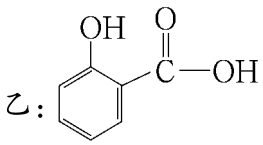
（11）

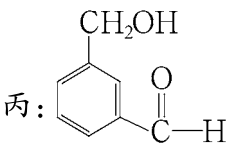
（12）

（13）

6．甲、乙、丙三种有机化合物的结构简式如下：

甲：

乙：

丙：

（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”。

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

第2章

官能团与有机化学反应 烃的衍生物

当烃分子的碳骨架上连有不同的官能团时，就形成醇、酚、醛、酮、羧酸和酯等不同类别的有机化合物，这些有机化合物皆属于烃的衍生物。对于有机化合物的化学性质，可以通过有机化学反应来认识和研究。有机化合物种类繁多，不同的有机化合物发生的反应又不同，因此有机化学反应数量巨大且情况复杂。不过，当有了官能团和有机反应类型的知识做指导后，你会发现似乎令人眼花缭乱的有机化学反应是有规律可循的，纷繁的有机化合物之间是可以实现有序转化的。这些，将使你对有机化合物性质和应用的认识更加深刻！

第1节　有机化学反应类型

第2节　醇和酚

第3节　醛和酮　糖类

第4节　羧酸　氨基酸和蛋白质

本章自我评价

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

第 1 节　有机化学反应类型

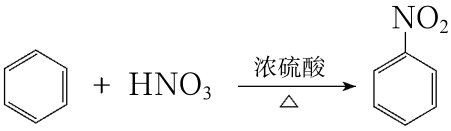
联想 · 质疑

你已经初步学习过一些有机化学反应及有机化学反应类型的知识，例如：

$CH_2{=}CH_2 + Br_2 \longrightarrow CH_2Br{-}CH_2Br$　　加成反应

$CH_2{=}CH_2 + HCl \longrightarrow CH_3{-}CH_2Cl$　　加成反应

$CH_4 + Cl_2 \xrightarrow{h\nu} CH_3Cl + HCl$　　取代反应



　　取代反应

$2CH_3CH_2OH + O_2 \xrightarrow[\triangle]{\text{催化剂}} 2CH_3CHO + 2H_2O$　　氧化反应

你是否思考过：应该从哪些方面认识一个有机化学反应？有机化合物的官能团与有机化学反应有何关系？有机化学反应有哪些主要类型？研究有机化学反应类型对认识有机化合物的化学性质和研究有机化合物间的转化有何意义？

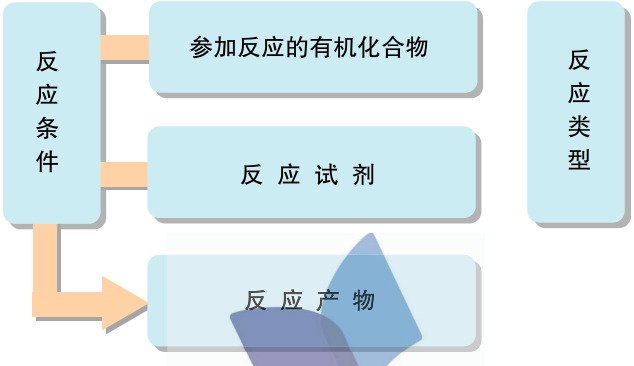


图 2-1-1　有机化学反应的分析框架

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

加成反应、取代反应、消去反应是有机化学反应的主要类型。掌握有机化学反应类型，有助于人们深刻认识有机化合物和有机化学反应。

一、有机化学反应的主要类型

1. 加成反应

加成反应（addition reaction）是有机化合物分子中的不饱和键两端的原子与其他原子或原子团结合，生成饱和的或比较饱和的有机化合物的反应。

从参与反应的有机化合物本身的特点来看，能够发生加成反应的有机化合物，除了分子中含有碳碳双键或碳碳叁键外，还有的分子中含碳氧双键，如乙醛（$CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-H$）、丙酮（$CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-CH_3$）等。

从与有机化合物发生加成反应的试剂来看，除了氢气、卤素单质及氢卤酸外，还有水、氢氰酸（HCN）等。例如：

$$CH_2=CH_2 + HBr \longrightarrow \underset{\text{溴乙烷}}{CH_3CH_2Br}$$

$$CH_2=CH_2 + H_2O \xrightarrow{\text{催化剂}} \underset{\text{乙醇}}{CH_3CH_2OH}$$

在以上这些反应过程中，反应物原有的官能团发生了转换，生成了具有另一种官能团的化合物。

根据有机化合物本身及试剂的结构特点，不同类型的不饱和键通常能与不同的试剂发生加成反应。例如，能与分子中含碳碳双键的有机化合物发生加成反应的试剂有卤素单质和氢卤酸，能与分子中含碳氧双键的有机化合物发生加成反应的试剂有氢氰酸。炔烃由于分子中含有碳碳叁键，既可与卤素单质或氢卤酸发生加成反应，又可与氢氰酸发生加成反应。

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

拓展视野

不对称烯烃的加成反应

某些试剂参与加成反应时，反应中心化学键的电荷分布如下：

$\overset{\delta^+}{H}-\overset{\delta^-}{Cl}$　　$\overset{\delta^+}{H}-\overset{\delta^-}{OSO_3H}$　　$\overset{\delta^+}{H}-\overset{\delta^-}{CN}$　　$\overset{\delta^+}{H}-\overset{\delta^-}{NH_2}$

双键或叁键本身或在外界条件的影响下，两端的原子也分别带有部分正电荷和部分负电荷，加成反应的结果是：双键或叁键两端带部分正电荷（δ^+）的原子与试剂中带部分负电荷（δ^-）的原子或原子团结合，双键或叁键两端带部分负电荷（δ^-）的原子与试剂中带部分正电荷（δ^+）的原子或原子团结合，生成反应产物。当用 $A_1{=}B_1$ 和 $A_2{-}B_2$ 分别表示分子中含有双键的有机化合物和试剂时，可用下面的式子来表示加成反应的一般结果：

$$\overset{\delta^+}{A_1}{=}\overset{\delta^-}{B_1}+\overset{\delta^+}{A_2}{-}\overset{\delta^-}{B_2}\longrightarrow \begin{matrix} A_1{-}B_1 \\ | \quad | \\ B_2 \quad A_2 \end{matrix}$$

上述规律可以帮助我们认识分子结构不对称的烯烃与分子结构不对称的试剂的加成反应。现以丙烯与氢卤酸的加成反应为例分析：在丙烯分子中，甲基是具有推电子性能的基团，对碳碳双键会产生推电子作用，最终使得双键碳原子间的共用电子偏向双键中的链端碳原子。

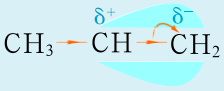


图 2-1-2　甲基的推电子作用示意图

丙烯与氢卤酸反应时，Cl^- 加在了碳碳双键带部分正电荷的碳原子上，H^+ 加在了碳碳双键带部分负电荷的碳原子上。

$$CH_3{-}\overset{\delta^+}{C}H{=}\overset{\delta^-}{C}H_2+\overset{\delta^+}{H}{-}\overset{\delta^-}{Cl}\longrightarrow CH_3{-}\underset{\displaystyle Cl}{\underset{|}{C}}H{-}CH_3$$

2-氯丙烷

加成反应是有机化学中极为常见且相当重要的一类反应，在有机合成中有着广泛的用途。例如，可以利用乙烯与水的加成反应制备乙醇，利用乙炔与氢氰酸的加成反应制备生产腈纶的原料——丙烯腈。

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

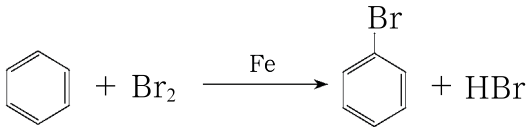
2. 取代反应

取代反应（substitution reaction）是有机化合物分子中的某些原子或原子团被其他原子或原子团代替的反应。

交流·研讨

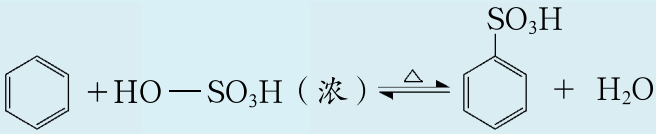
你已经学习了一些取代反应，例如：

$$CH_3—CH_3 + Cl_2 \xrightarrow{h\nu} CH_3CH_2Cl + HCl$$



请与同学们交流讨论：在这些取代反应中，烃分子中的何种原子被试剂分子中的什么原子或原子团取代了？

烷烃、芳香烃发生取代反应时主要是这些烃分子中的氢原子被其他原子或原子团取代。例如，苯环上的氢原子可以被硝基（$-NO_2$）、磺酸基（$-SO_3H$）等取代。



除了与碳原子相连的氢原子能被取代外，有机化合物分子中与碳原子相连的卤素原子、羟基等也能被取代。

拓展视野

有机化合物与极性试剂的取代反应

有机化合物分子中有极性单键，该有机化合物就能发生取代反应。有机化合物与极性试剂发生取代反应的结果可以用下面的通式来表示：

$$\overset{\delta^+}{A_1}—\overset{\delta^-}{B_1} + \overset{\delta^+}{A_2}—\overset{\delta^-}{B_2} \longrightarrow A_1—B_2 + A_2—B_1$$

以乙醇与氢溴酸发生的取代反应为例分析：

$$\overset{\delta^+}{CH_3CH_2}—\overset{\delta^-}{OH} + \overset{\delta^+}{H}—\overset{\delta^-}{Br} \longrightarrow CH_3CH_2—Br + H_2O$$

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

乙醇分子中带部分正电荷的乙基部分与氢溴酸中带部分负电荷的溴结合生成溴乙烷分子，而乙醇分子中带部分负电荷的羟基与氢溴酸中带部分正电荷的氢结合生成水分子。

某些试剂进行取代反应时断键的位置如下：

与醇发生取代反应时 $\left\{\begin{array}{l}\overset{\delta^+}{H}-\overset{\delta^-}{Cl}\\ \overset{\delta^+}{H}-\overset{\delta^-}{Br}\end{array}\right.$　与卤代烃发生取代反应时 $\left\{\begin{array}{l}\overset{\delta^+}{Na}-\overset{\delta^-}{CN}\\ \overset{\delta^+}{H}-\overset{\delta^-}{NH_2}\end{array}\right.$　与苯发生取代反应时 $\left\{\begin{array}{l}\overset{\delta^-}{HO}-\overset{\delta^+}{SO_3H}\\ \overset{\delta^-}{HO}-\overset{\delta^+}{NO_2}\end{array}\right.$

根据上面的方法，以下取代反应的化学方程式为：

$$CH_3CH_2CH_2Br + NaOH \xrightarrow{H_2O} CH_3CH_2CH_2OH + NaBr$$

$$CH_3CH_2Cl + NH_3 \longrightarrow CH_3CH_2NH_2 + HCl$$

$$CH_3CH_2Br + NaCN \longrightarrow CH_3CH_2CN + NaBr$$

烯烃、炔烃、醛、酮、羧酸等分子中的烷基部分也能发生取代反应，其中与官能团直接相连的碳原子（α－C）上的碳氢键最容易断裂，发生取代反应。例如，在一定条件下，丙烯与氯气发生取代反应，主要生成α－H被取代的反应产物：3－氯－1－丙烯。

$$CH_3-CH=CH_2+Cl_2 \xrightarrow{\triangle} Cl-CH_2-CH=CH_2+HCl$$

3－氯－1－丙烯

知识支持

α、β的含义

在含有官能团的有机化合物分子中，与官能团直接相连的碳原子称为α－C，其上的氢原子称为α－H；与α－C相连的碳原子称为β－C，其上的氢原子称为β－H。

取代反应在有机合成中具有重要的作用。例如，人们可以通过卤代烷的取代反应，将卤原子转化为氰基、氨基等官能团，从而制得用途广泛的腈、胺等有机化合物。

3. 消去反应

乙烯的产量是一个国家石油化工水平的重要标志。在工业上，生产乙烯的主要方法是石油裂解。在实验室中，乙烯是将乙醇和浓硫酸的混合物迅速加热至170℃左右而制得的。

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

观察·思考

利用乙醇的消去反应制取乙烯

在圆底烧瓶中注入约20 mL乙醇与浓硫酸（体积比约为1∶3）的混合液，放入几块碎瓷片（避免混合液在受热时暴沸）。加热混合液，使混合液温度迅速上升到170℃，这时就有乙烯生成。将温度维持在170℃左右，用排水集气法收集生成的乙烯。实验装置如图2-1-3所示。

请你思考：实验中所发生的反应有何特点？



图2-1-3 实验室制取乙烯

乙醇发生消去反应的化学方程式为：

$$CH_2(H)-CH_2(OH) \xrightarrow[170℃]{浓硫酸} CH_2=CH_2\uparrow + H_2O$$

像这样，在一定条件下，有机化合物脱去小分子物质（如H_2O、HBr等）生成分子中有双键或叁键的化合物的反应，叫做**消去反应**（elimination reaction）。

能够发生消去反应的有机化合物除醇外，还有卤代烷如氯乙烷、溴乙烷、2-氯丙烷等。例如，氯乙烷与NaOH的乙醇溶液共热发生消去反应生成乙烯。

$$CH_2(H)-CH_2(Cl) + NaOH \xrightarrow[\triangle]{乙醇} CH_2=CH_2\uparrow + NaCl + H_2O$$

在发生消去反应时，反应的产物与试剂的类型紧密相关。例如，欲由醇脱去水制烯烃时常选用浓硫酸等试剂；欲由卤代烷脱去氢卤酸时常选用NaOH的乙醇溶液等碱性试剂。

在有机合成中，利用醇或卤代烷等的消去反应可以在碳链上引入双键、叁键等不饱和键。

除了加成、取代和消去等主要反应类型外，为了研究方便，人们还从有机化合物分子中氧原子和氢原子的增加或减少的视角对有机化学反应进行分类。通常，将有机化合物分子中增加氧原子或减少氢原子的反应称为**氧化反应**（oxidation reaction）；将有机化合物分子中增加氢原子或减少氧原子的反应称为**还原反应**（reduction reaction）。例如：

$$2CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-H + O_2 \xrightarrow[\triangle]{催化剂} 2CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OH \quad 氧化反应$$

$$CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-H + H_2 \xrightarrow{催化剂} CH_3CH_2OH \quad 还原反应$$

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

在氧化反应中，常见的氧化剂有氧气、$KMnO_4$溶液、臭氧（O_3）、银氨溶液和新制的氢氧化铜悬浊液等；在还原反应中，常见的还原剂有氢气、氢化铝锂（$LiAlH_4$）和硼氢化钠（$NaBH_4$）等。利用氧化反应或还原反应，可以转变有机化合物的官能团，实现醇、醛和羧酸等物质间的相互转化，以达到预期的合成目的。

二、有机化学反应的应用——卤代烃的制备和性质

认识有机化学反应类型，对研究有机化合物的化学性质有重要意义。我们可以从有机化合物的结构出发，预测该有机化合物可能发生的化学反应，最后选取合适的化学试剂，通过实验来验证所预测的反应能否发生。这一方法程序可用图 2–1–4 来表示。

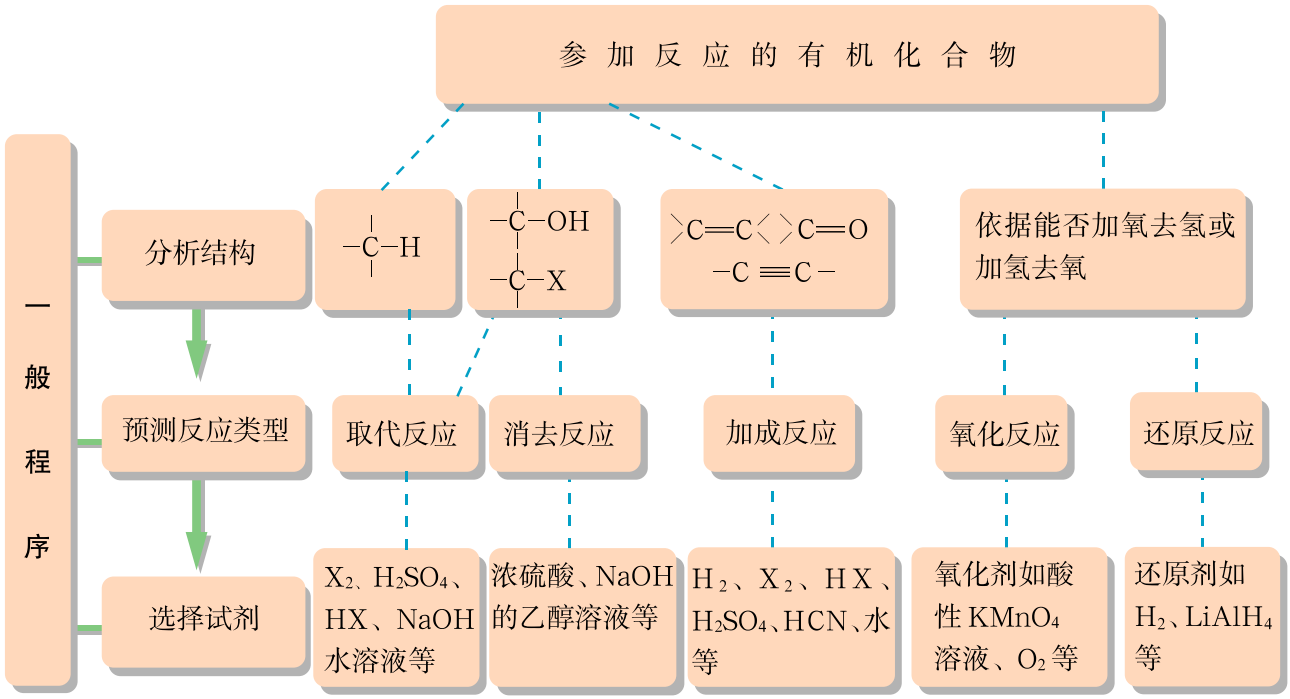


图 2–1–4　预测有机化合物可能发生的反应程序示意图

利用有机化学反应，可以制备有机化合物，研究有机化合物的性质。

卤代烃(halohydrocarbon)可以看做是烃分子中一个或多个氢原子被卤素原子取代后所生成的化合物。只由 C、H、X(F、Cl、Br、I 中的一种）三种元素组成的单纯的卤代烃在自然界中并不多见，大多数卤代烃是人工合成的产物。

我们可以通过石油化学工业易得的烷烃和烯烃为原料，利用烷烃与卤素单质的取代反应和烯烃与卤素单质以及氢卤酸的加成反应来制取卤代烃。卤代烃在工农业生产和人们的日常生活中都有很重要的作用。例如，溴氯三氟乙烷（$CF_3CHBrCl$）被广泛用做麻醉剂，氯仿（$CHCl_3$）、二氯甲烷（CH_2Cl_2）等常用做溶剂。

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

卤代烃的性质比烃活泼得多，能发生多种化学反应，转化成其他类型的有机化合物。

活动·探究

溴乙烷化学性质的探究

分析与预测

溴乙烷属于卤代烃，其官能团为溴原子，它可能具备怎样的化学性质呢？你希望通过哪些实验验证你的预测？

实验操作与记录

取一支试管，滴入10～15滴溴乙烷，再加入1 mL 5%的NaOH溶液，充分振荡、静置，待液体分层后，用滴管小心吸取10滴上层液体，移入另一支盛有1 mL 2 mol·L^{-1}的硝酸的试管中，然后加入2～3滴2%的$AgNO_3$溶液，观察现象。

实验现象	有关的化学方程式

结论与讨论

1．通过上述实验，可以得出溴乙烷的什么化学性质？

2．利用键的极性和反应类型的有关知识解释溴乙烷的化学性质。

卤代烃与NaOH的水溶液反应时，分子中的官能团——卤原子被羟基所取代，发生取代反应，生成相应的醇。例如：

$$CH_3CH_2Br + NaOH \xrightarrow{H_2O} CH_3CH_2OH + NaBr$$

某些卤代烃还可以在一定条件下发生消去反应。例如，溴乙烷与NaOH的乙醇溶液共热时，溴乙烷的官能团——溴原子与β位碳原子上的氢原子发生消去反应，生成乙烯。

$$CH_3CH_2Br + NaOH \xrightarrow[\triangle]{\text{乙醇}} CH_2{=}CH_2\uparrow + NaBr + H_2O$$

在有机合成中，卤代烃往往是改造有机化合物分子结构的中间产物，起着桥梁的作用。

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

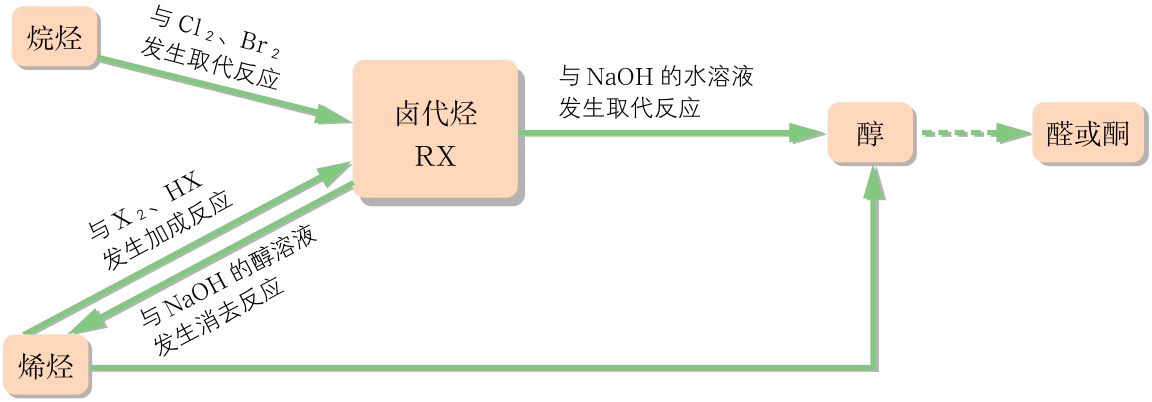


图 2-1-5 卤代烃的制备与性质

拓展视野

卤代烃与有机合成

饱和卤代烃易与 NH_3、C_2H_5ONa、$CH_3C{\equiv}CNa$、NaCN 等发生取代反应，而使卤代烃的官能团发生转化或使卤代烃的碳骨架增长；具有 β −H 的饱和卤代烃还可以发生消去反应转变为不饱和烃。因此，卤代烃在有机合成中有着重要的作用，被称为有机合成的“桥梁”。

近年来人们逐渐认识到，许多卤代烃会对环境和人体产生严重的危害，因此卤代烃在有机合成中的应用范围开始受到限制。现在，人们正在对涉及到危害较大的卤代烃的有机合成路线进行积极的改造。

精要概括

加成反应、取代反应、消去反应是有机化学反应的主要类型。若有机化合物分子中有极性单键，该有机化合物就可能发生取代反应；若有机化合物分子中有双键、叁键等不饱和键，该有机化合物就可能发生加成反应。此外，根据有机化合物分子中是加入氧原子或脱去氢原子还是脱去氧原子或加入氢原子，可将有机反应分为氧化反应和还原反应。

卤代烃的官能团是卤素原子，可通过烷烃的取代反应和烯烃的加成反应而获得，卤代烃性质活泼，可以在 NaOH 的水溶液中发生取代反应，也可以在 NaOH 的醇溶液中发生消去反应。卤代烃常作为有机合成的中间产物，是有机合成的桥梁。

练 习

1．反应条件是影响化学反应类型的重要因素。在光照条件下，1 mol C_6H_6(苯)和3 mol Cl_2 反应，无氯化氢生成；而在氯化铁的作用下，1 mol C_6H_6(苯)和1 mol Cl_2 反应，有氯化氢生成。试写出这两个反应的化学方程式，并指出它们的反应类型。

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

2．你已知道，1－氯丁烷与水在碱存在时发生取代反应生成1－丁醇，而通过下面的途径，1－氯丁烷可以转化为2－丁醇。尝试填写横线上和括号内物质的结构简式或化学式，并指出每一步反应的类型。

1－氯丁烷 $\xrightarrow[\triangle]{KOH/C_2H_5OH}$ ＿＿＿＿ $\xrightarrow{(\qquad\qquad)}$ 2－丁醇（$CH_3-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}-CH_2-CH_3$）

3．请将以下反应的化学方程式补充完整，说明你的理由并分别指出反应类型。

（1）$CH_3CH_2Br + NaCN \longrightarrow (\qquad\qquad) + NaBr$

（2）$(\qquad\qquad) + CH_3C{\equiv}CNa \xrightarrow{\triangle} CH_3CH_2C{\equiv}CCH_3 + NaBr$

（3）$CH_3-CH{=}CH_2 + Cl_2 \xrightarrow{\triangle} (\qquad\qquad) + HCl$

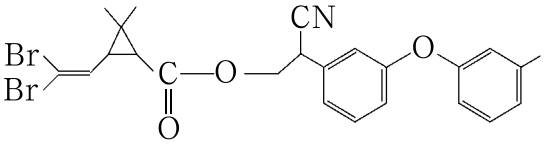
4．现有化合物A：$HC{\equiv}C-C{\equiv}C-C{\equiv}C-C{\equiv}C-C{\equiv}N$。以下对该物质可以发生的有机化学反应所属类型的判断中，不正确的是(　　)。

A．化合物A既可以与HCl发生加成反应，又可以与HCN发生加成反应

B．化合物A能与酸性$KMnO_4$溶液发生氧化反应

C．化合物A可以发生消去反应

D．化合物A能与溴的四氯化碳溶液发生加成反应

5．（拟除虫菊酯的一种）是一种人工合成的低毒、高效、对昆虫具有强烈杀灭作用的杀虫剂。以下对该化合物的叙述中，正确的是(　　)。

A．分子式为$C_{23}H_{30}NO_3Br_2$　　B．至少含有三种官能团

C．不能发生取代反应　　D．可能发生加成反应

6．乙酸乙烯酯（$CH_3-\overset{\displaystyle O}{\overset{\|}{C}}-O-CH{=}CH_2$）是有机合成的重要中间体，其聚合物聚乙酸乙烯酯广泛用于制备乳胶漆和黏合剂。若以乙炔为原料，选择哪种试剂与之发生一步加成反应可制得乙酸乙烯酯？尝试写出反应的化学方程式。

7．在工业上，异丙醇（$CH_3-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}-CH_3$）可由丙烯与硫酸发生加成反应，其产物再与水发生取代反应而制得。写出该过程所发生反应的化学方程式，并注明每一步反应的反应类型。

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

第 2 节　醇和酚

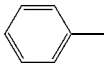
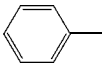
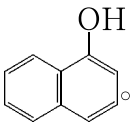
联想 · 质疑

醇和酚都是重要的有机化合物。例如，常用做燃料和饮料的酒精（乙醇）、汽车发动机防冻液中的乙二醇、化妆品中的丙三醇、茶叶中的茶多酚、用于制药皂的苯酚、漆器上涂的漆酚分别属于醇和酚。

一位著名的有机化学家曾说过，假如让一个有机化学家带上10种有机化合物到荒岛上独自工作，他的选择里一定会有醇。有了醇，他就能合成出各种各样的有机化合物。那么，在有机化合物的合成中醇为什么会有如此重要的作用？醇和酚都是分子中含有羟基的有机化合物，它们的性质有何异同？



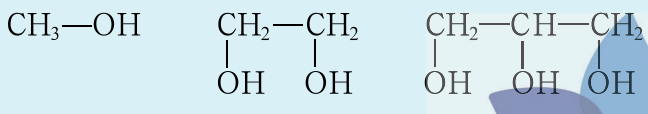
图 2-2-1　汽车中盛放乙二醇防冻液的容器

烃分子中饱和碳原子上的一个或几个氢原子被羟基取代的产物称为**醇**（alcohol），如乙醇 CH_3CH_2OH、苯甲醇  CH_2OH。**羟基**（hydroxyl）是醇的官能团。芳香烃分子中苯环上的一个或几个氢原子被羟基取代的产物称为**酚**（phenol），如苯酚  OH、萘酚  。虽然醇和酚的官能团均为羟基，但二者在性质上存在着较大的差别。

一、醇的概述

醇广泛存在于自然界中，是一类重要的有机化合物。醇在人类的生产、生活中有着重要的应用，如用做溶剂、燃料、消毒剂及有机合成原料等。

醇的种类很多。根据分子中所含羟基的数目可分为一元醇、二元醇、三元醇等，一般将二元以上的醇统称为多元醇。例如：



甲醇（一元醇）　乙二醇（二元醇）　丙三醇（三元醇）

知识支持

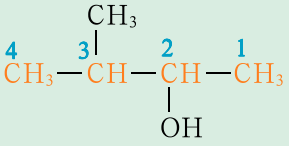
醇的命名

1. 选择连有羟基的最长碳链做主链，按主链所含碳原子数称为某醇。

2. 对碳原子的编号由接近羟基的一端开始。

3. 命名时，羟基的位次号写在“某醇”的前面，其他取代基的名称和位次号写在母体名称的前面。

例如：



3– 甲基 –2– 丁醇

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

甲醇（methanol）是组成最简单的一元醇。因最早由干馏木材得到，所以也称木醇。甲醇是无色、具有挥发性的液体，沸点为65℃，有毒，误服会损伤视神经，甚至会致人死亡。它是一种重要的化工原料，广泛应用于化工生产，也可直接用做燃料。



图 2-2-2 甲醇用做 F1 赛车的燃料添加剂

乙二醇（glycol）是无色、无臭、具有甜味的黏稠液体，熔点为−16℃，沸点为197℃，能与水以任意比例互溶，能显著降低水的凝固点。它是目前市售汽车发动机防冻液的主要化学成分，也是合成涤纶等高分子化合物的主要原料。

丙三醇（glycerin）俗称甘油，是无色、无臭、有甜味的黏稠液体，沸点为290℃（分解），能与水以任意比例互溶，具有很强的吸水能力。丙三醇主要用于制造日用化妆品和三硝酸甘油酯。三硝酸甘油酯俗称硝化甘油，主要用做炸药，也是治疗心绞痛药物的主要成分之一。



图 2-2-3 用乙二醇合成的涤纶

如果醇分子中的烃基是烷基，这种醇称为饱和醇，如甲醇、乙醇等。饱和一元醇可以看成是烷烃分子中的一个氢原子被羟基取代后的产物，其组成可用通式 $C_nH_{2n+1}OH$（$n \geqslant 1$）表示。从表2-2-1的数据可以看出，饱和一元醇的沸点比与其相对分子质量接近的烷烃或烯烃的沸点要高。这主要是因为一个醇分子中羟基上的氢原子可与另一个醇分子中羟基上的氧原子相互吸引形成**氢键**(hydrogen bond)，增强了醇分子间的相互作用。

表 2-2-1 相对分子质量相近的醇和烷烃、烯烃的沸点

有机化合物结构简式	相对分子质量	沸点/℃
CH_3OH	32	65
CH_3CH_3	30	−89
$CH_2{=}CH_2$	28	−102
CH_3CH_2OH	46	78
$CH_3CH_2CH_3$	44	−42
$CH_3CH{=}CH_2$	42	−48

饱和一元醇也可以看成是水分子中的一个氢原子被烷基取代后的产物。当烷基较小时，醇分子与水分子形成氢键使醇与水能互溶；随着分子中烷基的增大，醇的物理性质逐渐接近烷烃。常温常压下，饱和一元醇分子中碳原子数为1～3的醇能与水以任意比例互溶；分子中碳原子数为4～11的醇为油状液体，仅可部分溶于水；分子中碳原子更多的高级醇为固体，不溶于水。

多元醇分子中的羟基较多，一方面增加了分子间形成氢键的几率，使多元醇的沸点较高；另一方面增加了醇与水分子间形成氢键的几率，使多元醇具有易溶于水的性质。

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

知识支持

氢　键

氢键是一种特殊的分子间作用。它是指分子中与电负性大的元素原子X以共价键相连的氢原子，和另一个分子中电负性大的元素原子Y之间所形成的一种较强的相互作用，常用X—H···Y表示。氢键的键能在10～40 kJ·mol^{-1}之间，比化学键弱很多，但比普通的分子间作用力稍强。

X、Y是电负性大、半径小的原子，常见的有氟、氧、氮原子。例如，在醇分子中，一个羟基上的氢原子和另一个羟基上的氧原子就会形成氢键；在醇的水溶液中，水分子和醇分子之间也会形成氢键。

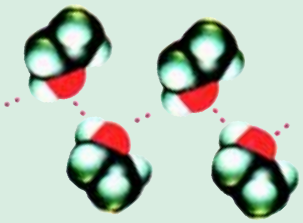


图2-2-4　醇分子间的氢键示意图

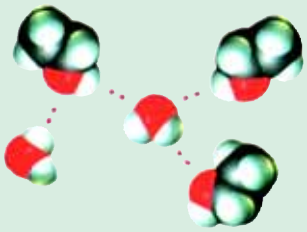


图2-2-5　醇分子与水分子间的氢键示意图

二、醇的化学性质

交流·研讨

氧元素的电负性比氢元素和碳元素的电负性都大，醇分子中羟基上的氧原子对共用电子的吸引能力强，共用电子偏向氧原子，从而使碳氧键和氢氧键都显出极性，容易断裂。

由于醇分子中羟基上氧原子的强吸电子作用，使α—H和β—H都较为活泼。

$$R\overset{\beta}{-}CH_2\overset{\alpha}{-}\overset{\delta^+}{C}H_2-\overset{\delta^-}{O}-\overset{\delta^+}{H}$$

1．结合上述材料和第1节的内容，以1—丙醇为例预测醇能发生哪些类型的化学反应，反应时生成何种产物。

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

2．举出相应的反应实例来证明你的预测。

反应类型	反应部位	试 剂	产 物

醇发生的反应主要涉及分子中的碳氧键和氢氧键。断裂碳氧键脱掉羟基，发生取代反应或消去反应；断裂氢氧键脱掉氢原子，发生取代反应或氧化反应。

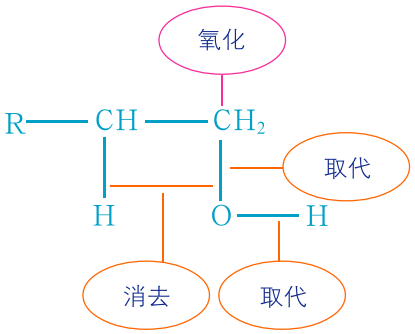


图 2-2-6 醇分子发生反应的部位及反应类型

1. 羟基的反应

取代反应

醇与浓的氢卤酸（HCl、HBr、HI）发生反应时，分子中的碳氧键发生断裂，羟基被卤原子取代，生成相应的卤代烃和水。例如：

$$CH_3CH_2OH + HBr \longrightarrow CH_3CH_2Br + H_2O$$

$$CH_3CH_2CH_2OH + HBr \longrightarrow CH_3CH_2CH_2Br + H_2O$$

在酸做催化剂及加热的条件下，醇可以发生分子间的取代反应［一个醇分子中的烃氧基（RO—）取代另一个醇分子中的羟基］，生成醚和水。例如，乙醇在浓硫酸做催化剂的情况下加热到 140℃时，会生成乙醚和水。

$$C_2H_5—OH + H—OC_2H_5 \xrightarrow[140℃]{\text{浓硫酸}} C_2H_5—O—C_2H_5 + H_2O$$

乙醚

知识支持

醚

分子由两个烃基通过氧原子连接而成的有机化合物称为醚。烃基可以是烷基、烯基、苯基等。例如：

$C_2H_5—O—C_2H_5$

乙醚

$CH_3—O—C_2H_5$　　$—O—CH_3$

甲乙醚　　苯甲醚

山东出版 SHANDONG PUBLISHING



消去反应

不仅乙醇能发生消去反应，其他分子中含有β−H的醇在一定温度下也能发生消去反应并生成相应的烯烃。例如，丙醇发生消去反应能生成丙烯。

$$CH_3—CH_2—CH_2OH \xrightarrow[\triangle]{\text{浓硫酸}} CH_3—CH{=}CH_2\uparrow + H_2O$$

2. 羟基中氢的反应

与活泼金属反应

由于氧元素与氢元素电负性的差异较大，羟基中氢氧键的极性比较强，容易断裂，所以羟基中的氢比较活泼，能与钠、钾等活泼金属发生反应。例如，乙醇可以与金属钠反应生成乙醇钠和氢气。

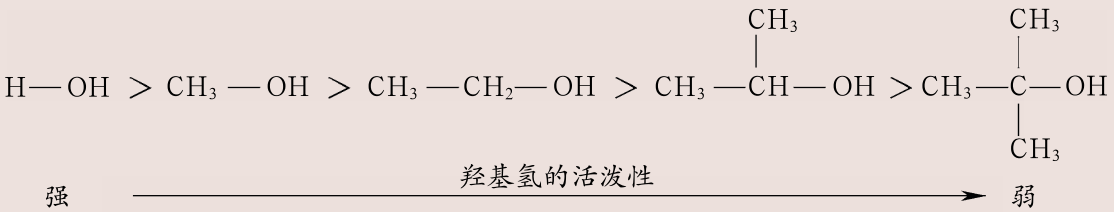
$$2C_2H_5OH + 2Na \longrightarrow 2C_2H_5ONa + H_2\uparrow$$

实验证明，乙醇与金属钠的反应要比水与金属钠的反应缓和得多。这是由于醇分子中的烷基具有推电子作用，使醇分子中氢氧键不如水分子中氢氧键容易断裂，因此醇分子中羟基氢原子的活泼性要比水分子中氢原子的活泼性弱一些。



烃基对醇分子中羟基氢活泼性的影响

醇分子中，与羟基直接相连的碳原子上的烃基越多，推电子作用越强，氢氧键就越不容易断裂，则羟基氢原子就越不活泼。水分子中由于没有推电子烃基的影响，氢氧键比较容易断裂，所以水与活泼金属的反应较各种醇与活泼金属的反应都要剧烈。



与羧酸反应

通过化学必修课程的学习你已知道，乙醇与乙酸在浓硫酸催化并加热的情况下可以发生酯化反应生成乙酸乙酯和水。实验证明，其他的醇与羧酸也可以发生酯化反应生成酯和水。

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

醇分子和羧酸分子中都含有羟基，那么，在发生酯化反应时是羧酸还是醇脱掉羟基呢？在乙醇与乙酸反应制取乙酸乙酯时，利用同位素示踪法对乙醇分子中的氧原子进行标记，经过对生成物的检测，发现产物乙酸乙酯中含有氧的同位素^{18}O。这说明，酯化反应中脱掉羟基的是羧酸，脱掉氢原子的是醇。

资料在线

同位素示踪法

同位素示踪法是以放射性同位素为示踪剂，对研究对象进行标记的微量分析方法。可以用同位素作为一种标记，制成含有同位素的标记化合物代替相应的非标记化合物。利用放射性同位素不断地放出特征射线的性质，就可以用核探测器随时追踪它在产物中的位置和数量。

$$CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OH + H^{18}OC_2H_5 \underset{\triangle}{\overset{\text{浓硫酸}}{\rightleftharpoons}} CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-{}^{18}O-C_2H_5 + H_2O$$

3. 醇的氧化

醇可以燃烧生成二氧化碳和水。有些醇还可以被催化氧化，如1–丙醇和2–丙醇的催化氧化反应分别为：

$$\underset{\text{1–丙醇}}{2CH_3CH_2CH_2OH} + O_2 \xrightarrow[\triangle]{Cu} \underset{\text{丙醛}}{2CH_3CH_2-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-H} + 2H_2O$$

$$\underset{\text{2–丙醇}}{2CH_3CHOHCH_3} + O_2 \xrightarrow[\triangle]{Cu} \underset{\text{丙酮}}{2CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-CH_3} + 2H_2O$$

醇的催化氧化反应能够实现由醇到醛、酮的转化。例如，工业上可利用甲醇的催化氧化生产甲醛。

由于醇具有上述性质且便宜易得，所以在有机化合物转化中占有非常重要的地位。图2–2–7表示了醇转化为其他类别有机化合物的情况。

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

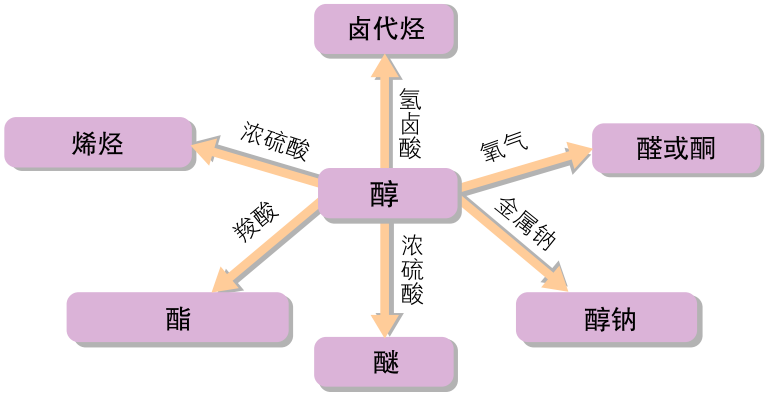
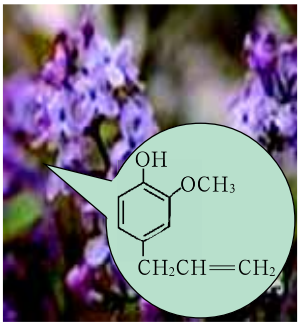


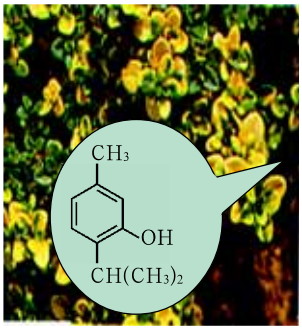
图 2-2-7　醇转化为其他类别有机化合物示意图

三、酚

酚在自然界中广泛存在。例如，有些植物中含有丁香酚、麝香草酚、芝麻酚、维生素E等。很多酚类物质是重要的化工原料，如煤焦油中的苯酚、甲苯酚。



丁香酚



麝香草酚

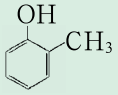


芝麻酚

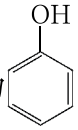
图 2-2-8　几种酚及其结构简式

知识支持

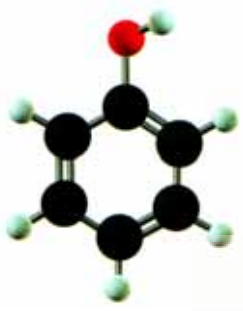
酚的命名

酚的命名很简单，就是在苯、萘等名称后面加上“酚”字；若苯环上有取代基，将取代基的位次和名称写在前面。例如，

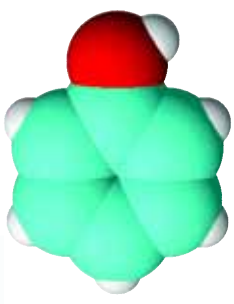
称为邻甲基苯酚。

苯酚（phenol）俗称石炭酸，是组成最简单的酚，结构简式为

。



球棍模型



填充模型

图 2-2-9　苯酚分子的结构模型

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

苯酚是有特殊气味的无色晶体，熔点为43℃，暴露在空气中会因部分被氧化而呈粉红色。常温下苯酚在水中的溶解度不大，温度高于65℃时，则能与水互溶。苯酚具有一定的杀菌能力，可以用做杀菌消毒剂。因苯酚有毒，其浓溶液对皮肤有强烈的腐蚀性，使用时要小心，如果不慎沾到皮肤上，应立即用酒精清洗。

活动·探究

苯酚的主要化学性质

从结构上看，苯酚分子是由一个苯环和一个羟基组成的。那么，苯酚是否具有与苯或醇相同的化学性质呢？

请利用下列试剂探究苯酚的性质，并设计实验证明你的预测。

样品

苯酚

试剂

蒸馏水，乙醇，NaOH溶液，Na_2CO_3溶液，紫色石蕊溶液，溴水，$FeCl_3$溶液。

实验方案

性质预测	实验步骤	实验现象	实验结论或化学方程式

讨论

1．比较苯酚与苯、苯酚与醇的化学性质。

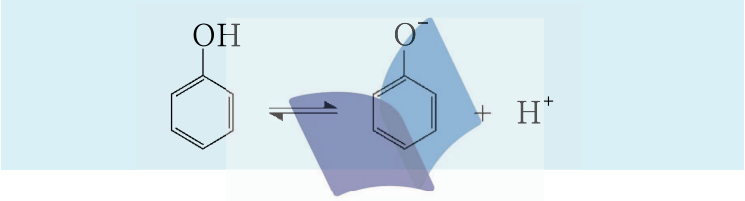
2．从苯酚的结构特点出发，讨论官能团之间的相互影响。

3．总结归纳苯酚的化学性质，试写出有关反应的化学方程式。

苯酚分子中羟基和苯环直接相连，由于官能团之间的相互影响使得苯酚的化学性质与醇或苯的化学性质有明显的不同。

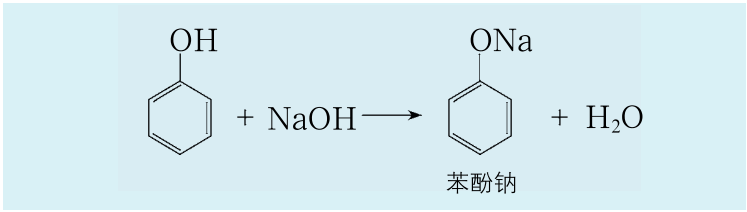
1. 苯环对羟基的影响

受苯环的影响，苯酚分子中的氢氧键比醇分子中的氢氧键更容易断裂，能在水溶液中发生微弱电离产生H^+：



山东出版 SHANDONG PUBLISHING

因此，苯酚具有弱酸性，能与NaOH溶液反应，而醇却不能。苯酚与NaOH溶液的反应为：



若往苯酚钠的水溶液中通入二氧化碳，溶液会变浑浊。这是因为苯酚的酸性比碳酸弱，苯酚钠与碳酸反应生成溶解度较小的苯酚的缘故。

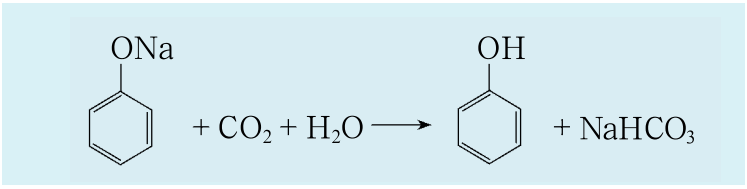




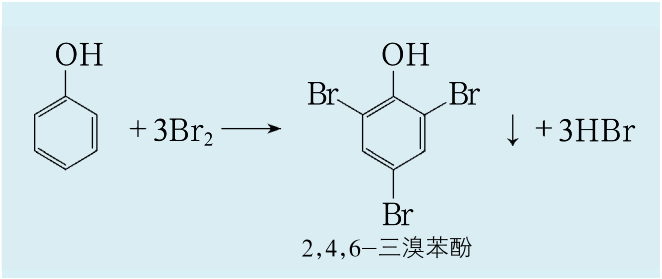
图 2-2-10 苯酚钠溶液与二氧化碳的反应

苯酚分子中的碳氧键因受苯环的影响而不易断裂，因此苯酚不能与氢卤酸反应生成卤苯。

2. 羟基对苯环的影响

苯酚分子中的羟基使苯环容易发生取代反应。实验证明，连在苯环上的羟基对与其相邻和相对位置上的碳氢键的影响尤为明显，在发生取代反应时，羟基邻位和对位上的氢原子较容易被取代。

将苯酚的稀溶液滴加到溴水中，可以看到溶液中有白色沉淀产生，这是因为溴原子取代了苯环上与羟基处于邻位和对位的氢原子，生成了2,4,6−三溴苯酚的缘故。



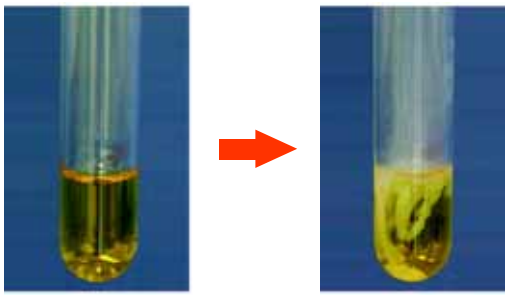


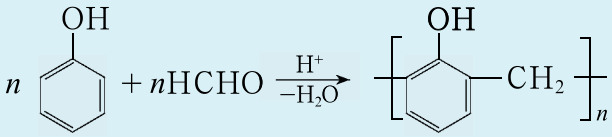
图 2-2-11 苯酚稀溶液滴加到溴水中

这个反应很灵敏，很稀的苯酚溶液就能与溴水反应产生白色沉淀。因此，这一反应可用做苯酚的鉴别和定量测定。

另外，苯酚的稀溶液遇$FeCl_3$溶液会立即显紫色。大多数的酚都能与$FeCl_3$溶液反应显出颜色，因而这一反应也常用于酚的鉴别。

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

苯酚分子中的苯环受羟基的影响而被活化，还表现为苯酚能与甲醛发生聚合反应，生成酚醛树脂。



酚醛树脂



在苯酚与甲醛的混合溶液中加入浓盐酸



不停地搅拌



反应结束可得酚醛树脂

图 2-2-12　实验室制取酚醛树脂

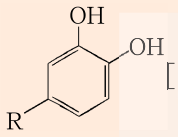
酚醛树脂是最早生产和使用的合成树脂。它不易燃烧，具有良好的电绝缘性，被广泛地用来生产电闸、电灯开关、灯口、电话机等电器用品，俗称“电木”。

酚类化合物在人类的生产和生活中有着广泛的用途。例如，苯酚常用于制造有消毒作用的酚皂；从葡萄中提取的酚具有延缓衰老的功效，可用于制造化妆品；茶叶中含有的酚具有抗癌、防腐作用，可用于制备食品防腐剂和抗癌药物；很多农药的主要成分中也含有酚类物质。

身边的化学

生漆与酚

生漆又称大漆或土漆，是从漆树树干上取得的天然漆树液。树漆与蚕丝、蜂蜜在我国素有“三大宝”的美名。生漆具有防腐蚀、耐强酸、耐强碱、防潮绝缘、耐高温等优良性质。天然生漆是世界公认的“涂料之王”，是车船、电缆、军工、建筑、家具和工艺品常用的高级涂料。天然生漆的主要成分之一就是漆酚，其结构简式为



［R 为长链烃基］。



图 2-2-13　涂有生漆的漆器

山东出版 SHANDONG PUBLISHING



苹果变色与酚的氧化

多酚氧化酶在有氧的情况下可催化酚的氧化反应，使其变成深色物质。在果蔬加工过程中常常因此而产生不受欢迎的褐色或黑色，影响果蔬的感观质量。

新鲜的香蕉、苹果、梨、茄子、马铃薯等果蔬被碰伤、切开或遭遇病害时，其组织中的酚暴露在空气中，容易在多酚氧化酶催化下被氧化而发生褐变。

精要概括

醇是烃分子中饱和碳原子上的一个或几个氢原子被羟基取代生成的有机化合物，可以依据分子中羟基的数目对醇进行分类。醇参与化学反应时反应主要发生在醇分子中的碳氧键和氢氧键上，主要的反应类型有取代反应和消去反应等。另外，醇可以被氧化。

酚是芳香烃分子中苯环上的一个或几个氢原子被羟基取代生成的有机化合物。苯酚的化学性质不是苯和醇化学性质的简单加和。由于羟基和苯环的相互影响，苯酚具有弱酸性，易发生苯环上的取代反应等。在实验室里，可以用溴水、$FeCl_3$溶液等鉴别苯酚。

练　习

1．有机化合物分子在不同的化学反应中会断裂不同的化学键，请就此回答下列问题：

（1）乙醇与乙酸反应生成乙酸乙酯时，乙醇分子中断裂的化学键为（　　）。

A．碳氢键　　B．碳碳键　　C．碳氧键　　D．氢氧键

（2）乙醇可以发生下列化学反应，在反应中乙醇分子断裂碳氧键而失去羟基的是（　　）。

A．乙醇在浓硫酸存在时发生的消去反应

B．乙醇与金属钠的反应

C．乙醇与氢卤酸的取代反应

D．乙醇和乙酸的酯化反应

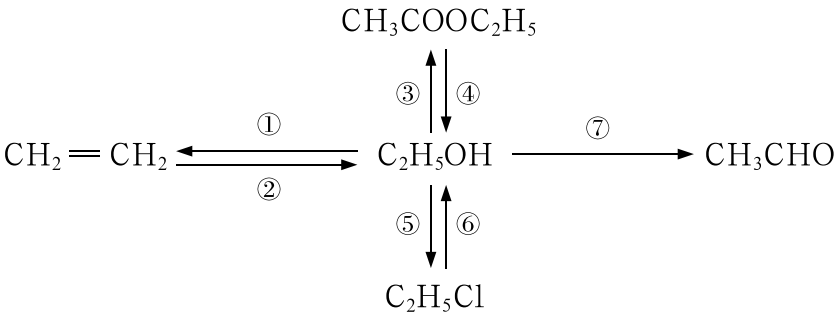
山东出版
SHANDONG PUBLISHING

（3）下列各醇中，能发生消去反应生成 $CH_3-\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}=CH_2$ 的是（　　）。

A. $CH_3-\overset{\overset{CH_3}{|}}{CH}-CH_2OH$　　B. $CH_3-CH_2-CH_2-CH_2OH$

C. $CH_3-\overset{\overset{CH_3}{|}}{\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}}-OH$　　D. $CH_3-\overset{\overset{CH_3}{|}}{\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}}-CH_2-OH$

2. 写出下列各物质相互转化的化学方程式，并注明①②⑤⑥的反应类型。



	化学方程式	反应类型
①		
②		
③		
④		
⑤		
⑥		
⑦		

3. 下列关于苯酚的说法中，不正确的是（　　）。

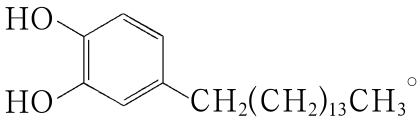
A. 纯净的苯酚是粉红色晶体

B. 有特殊气味

C. 易溶于乙醇、乙醚等有机溶剂，不易溶于冷水

D. 苯酚有毒，沾到皮肤上，可用浓 NaOH 溶液洗涤

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

4．漆酚是生漆的主要化学成分，某种漆酚的结构简式为。生漆涂在物品表面，在空气中干燥时会产生漆膜，漆酚不应具有的化学性质是（　　）。

A．可与烧碱溶液反应　　B．可与溴水发生取代反应

C．可与酸性$KMnO_4$溶液反应　　D．可与$NaHCO_3$溶液反应放出二氧化碳

5．两种有机化合物A和B互为同分异构体，分子式为C_7H_8O。A能与氢溴酸反应，生成物的分子式为C_7H_7Br，而B不能与氢溴酸反应；A不溶于NaOH溶液，而B能溶于NaOH溶液；B能使适量溴水退色并产生白色沉淀，而A不能。B的一溴代物有三种。写出A、B的结构简式、名称及有关反应的化学方程式。

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

第 3 节　醛和酮　糖类

联想 · 质疑

福尔马林是 35% ~ 45% 的甲醛水溶液。动物标本通常被保存在稀释的福尔马林中。

丙酮是一种重要的有机溶剂，它在化学实验和工业生产中都有着广泛的应用。例如，工业上常以丙酮为原料制造塑料和涂料。

葡萄糖是供给人体能量的物质之一。高浓度（葡萄糖的质量分数在 50% 以上）的葡萄糖液配以相关的药物输入患者体内可以治疗肠道感染、静脉炎等多种疾病。

甲醛和丙酮分别属于哪类有机化合物？它们的结构和性质是怎样的？葡萄糖是一种组成较简单的糖类物质，它与甲醛和丙酮有什么联系吗？



福尔马林用于保存动物标本



丙酮用于制造涂料



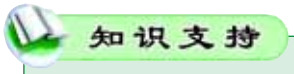
葡萄糖用于输液

图 2–3–1　甲醛、丙酮和葡萄糖的常见用途举例

一、常见的醛、酮

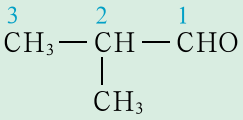
醛和酮都是分子中含有羰基（$\diagup\!\!\diagdown C=O$）的化合物。在**醛**（aldehyde）分子中，羰基碳原子分别与氢原子和烃基（或氢原子）相连。醛的官能团是醛基 $-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-H$（$-CHO$）。在**酮**（ketone）分子中，与羰基碳原子相连的两个基团均为烃基且二者可以相同也可以不同。酮的官能团是酮羰基 $\left[\begin{matrix}(R)\diagdown\\ \\(R')\diagup\end{matrix}\!\!C=O\right]$。

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

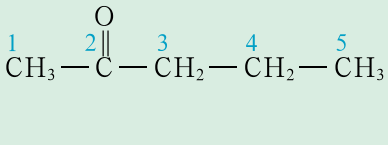


醛、酮的命名

醛、酮的命名和醇的命名相似。下面是一种醛和一种酮的结构简式和名称。



2–甲基丙醛

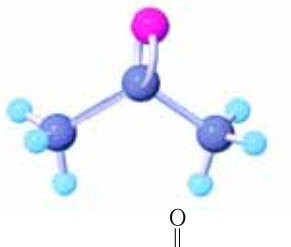


2–戊酮

饱和一元醛和饱和一元酮的通式皆为 $C_nH_{2n}O$，分子中碳原子数相同的饱和一元醛和饱和一元酮互为同分异构体。



丙醛（CH_3CH_2CHO）



丙酮（$CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-CH_3$）

图 2–3–2　丙醛和丙酮分子的球棍模型

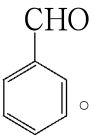
交流 · 研讨

下表中列出了分子式为 $C_5H_{10}O$ 的醛和酮的部分同分异构体的结构简式，请写出属于醛、酮的其他同分异构体的结构简式，并举例说明这些异构体异构关系的类型。

异构体的结构简式	① $CH_3CH_2CH_2CH_2CHO$　② $CH_3CH_2CH(CH_3)CHO$ ③ $CH_3CH_2-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-CH_2CH_3$　④ $CH_3CH_2CH_2-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-CH_3$	
异构类型（每种各举几例即可）	官能团类型异构	如：①和③
	官能团位置异构	如：③和④
	碳骨架异构	如：①和②

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

甲醛（formaldehyde）和**乙醛**（acetaldehyde）都是组成简单的饱和一元醛，结构简式分别为 HCHO 和 CH_3CHO。通常条件下，甲醛是一种有强烈刺激性气味的无色气体，沸点为 −21℃，易溶于水。在工业上，甲醛可用于制造脲醛树脂、酚醛树脂等。乙醛是有刺激性气味的无色液体，沸点为 20.8℃，易溶于水，可由乙醇氧化而得。

苯甲醛（benzaldehyde）是组成最简单的芳香醛，结构简式为

。苯甲醛是一种有杏仁气味的液体，沸点为 178℃，工业上称其为苦杏仁油，它的衍生物存在于杏仁、桃仁等果实的种子中。苯甲醛是制造染料、香料的重要中间体。

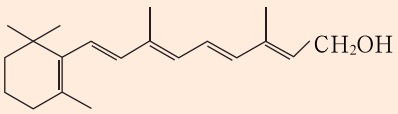
丙酮（propanone）是组成最简单的酮。它是一种有特殊气味的无色液体，沸点为 56.2℃，能与水以任意比例互溶，并能溶解多种有机化合物。丙酮不仅是常用的有机溶剂，还是重要的有机合成原料。

在自然界中，还存在许多具有重要生理作用的醛和酮，它们的结构往往比较复杂，分子中除醛基或酮基外还有其他官能团。

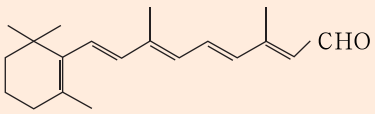
身边的化学

常见的醛、酮举例

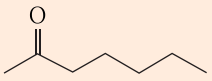
人体内缺乏维生素 A 会导致眼角膜硬化，表现为傍晚时分视物不清，即夜盲症。原来，维生素 A 在人体内很容易被氧化成视黄醛，而视黄醛的缺乏是引起视觉障碍的主要原因。



维生素 A



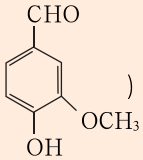
视黄醛

蜜蜂传递警戒信息的激素中含有的 2– 庚酮（

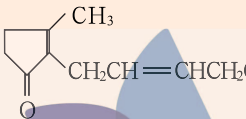
）是昆虫之间进行化学通讯的高活性微量化学信息物质之一。


图 2–3–3　蜜蜂


图 2–3–4　香荚兰豆

香荚兰豆的香气成分中含有的香草醛（

）也称香兰素，常用做食品添加剂的原料，起增香作用。

茉莉花香气成分中含有的茉莉酮（

）可用于制造化妆品。


图 2–3–5　茉莉花

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

二、醛、酮的化学性质

交流·研讨

与其他有机化合物相比，醛、酮的化学性质较活泼，这与它们官能团的结构密切相关。请根据醛、酮的结构特点，利用你所掌握的有机化合物结构与性质间关系的知识推测它们可能具有的化学性质，完成下表。

官能团：
官能团中的碳原子是否饱和：
官能团对α—H的影响：

结构 ⟺ 性质

$\overset{\delta^+}{C}=\overset{\delta^-}{O}$

反应类型	试　剂	反应产物
加成反应	HCN	分子中含有$-\overset{\overset{|}{}}{\underset{|}{C}}-OH$ CN 结构的物质

1. 羰基的加成反应

羰基含有不饱和碳原子，可以发生加成反应。能与醛、酮发生加成反应的试剂有氢氰酸、氨及氨的衍生物、醇等。

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

表2-3-1 几种与醛、酮反应的试剂及加成产物

试剂名称	化学式	电荷分布 $\overset{\delta^+}{A}—\overset{\delta^-}{B}$	与乙醛加成的产物
氢氰酸	H—CN	$\overset{\delta^+}{H}—\overset{\delta^-}{C}N$	$H—\underset{OH}{\overset{CH_3}{C}}—CN$ α-羟基丙腈
氨及氨的衍生物（以氨为例，氨的衍生物指氨分子中的氢原子被其他原子团取代的物质）	NH_3	$\overset{\delta^+}{H}—\overset{\delta^-}{N}H_2$	$H—\underset{OH}{\overset{CH_3}{C}}—NH_2$ α-羟基乙胺
醇类（以甲醇为例）	$CH_3—OH$	$\overset{\delta^+}{H}—\overset{\delta^-}{O}CH_3$	$H—\underset{OH}{\overset{CH_3}{C}}—OCH_3$ 乙醛半缩甲醇

醛或酮与氢氰酸加成，反应产物的分子比原来的醛分子或酮分子多了一个碳原子。例如：

$$CH_3—\overset{O}{\overset{\|}{C}}—H + HCN \xrightarrow{\text{催化剂}} H—\underset{OH}{\overset{CH_3}{C}}—CN$$

$$CH_3—\overset{O}{\overset{\|}{C}}—CH_3 + HCN \xrightarrow{\text{催化剂}} CH_3—\underset{OH}{\overset{CH_3}{C}}—CN$$

这类加成反应在有机合成中可以用于增长碳链。

方法导引

碳氧双键具有较强的极性，双键上的不饱和碳原子带部分正电荷，发生加成反应时，碳原子与试剂中带部分负电荷的基团结合：

$$R\diagdown \overset{\delta^+}{C}=\overset{\delta^-}{O} + \overset{\delta^+}{A}—\overset{\delta^-}{B}$$
$$(R')H\diagup$$

$$\longrightarrow (R')H—\underset{B}{\overset{R}{C}}—OA$$

身边的化学

甲醛为什么有毒

现代科学研究表明，甲醛对人体健康有很大危害。当室内空气中甲醛含量为0.1 $mg \cdot m^{-3}$时就有异味并引起人的不适感；食用含有甲醛的食品也会使人中毒。

甲醛为什么有毒？它在人体内发生了什么变化？

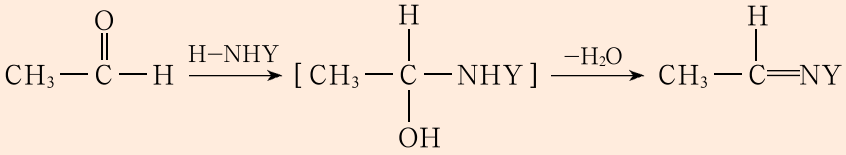
醛、酮能与氨的衍生物发生加成反应，反应的产物还会发生分子内脱水反应。从总的结果来看，这类反应相当于在醛、酮和氨的衍生



图2-3-6 一些居室装修材料会释放甲醛

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

物的分子之间脱掉了水分子，可表示为：



甲醛之所以有毒，就是因为它进入人体后，分子中的羰基与蛋白质分子中的氨基发生了类似上述转化的反应，使蛋白质失去原有的生物活性。甲醛能够防腐也是基于这个原因。

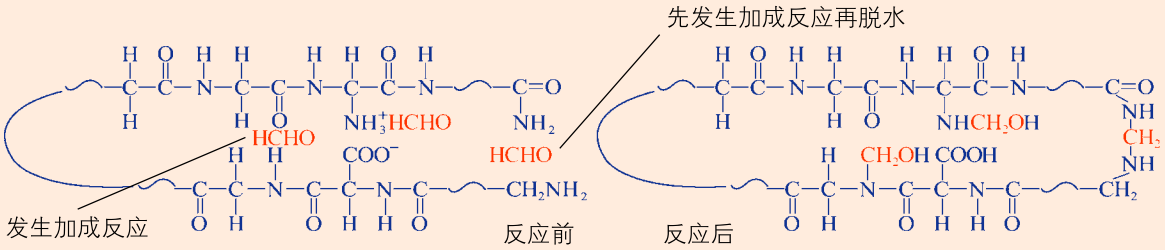


图 2-3-7 甲醛与蛋白质反应示意图

2. 氧化反应和还原反应

氧化反应

醛和酮都能发生氧化反应。空气中的氧气就能氧化醛，一些弱氧化剂如银氨溶液、新制氢氧化铜悬浊液也能氧化醛，氧化产物通常为相应的羧酸。而酮对一般的氧化剂比较稳定，只有很强的氧化剂才能将其氧化。之所以出现上述情况，是由于醛的氧化只是官能团的转变，而酮的氧化则涉及分子中碳碳单键的断裂。

活动·探究

醛的氧化反应

通过化学必修课程的学习，你已知道葡萄糖能与新制氢氧化铜悬浊液反应产生砖红色氧化亚铜（Cu_2O）沉淀，这其实就是葡萄糖分子中醛基上的氧化反应。请你设计实验验证醛基的还原性。

试剂 乙醛，0.5% 酸性 $KMnO_4$ 溶液，银氨溶液，10% NaOH 溶液，2% $CuSO_4$ 溶液。

银氨溶液的配制和使用 在一支洁净的试管中，加入 1 mL 2% $AgNO_3$ 溶液，边振荡边滴加 2% 氨水，直至最初产生的沉淀恰好消失，便得到银氨溶液，其主要成分的化学式为 $[Ag(NH_3)_2]OH$。银氨溶液与醛的反应需在 60℃～70℃ 的水浴中进行。

实验方案

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

实验记录

实验内容	实验现象	化学方程式



图 2-3-8 乙醛与银氨溶液反应产生“银镜”的实验

讨论

你所得到的实验现象和其他同学的相同吗？若不同，请分析原因。

醛与银氨溶液的反应，因生成的金属银的薄层附着在洁净的试管内壁形成光亮的银镜，也称为银镜反应。乙醛发生银镜反应的化学方程式为：

$$CH_3CHO + 2[Ag(NH_3)_2]OH \xrightarrow{\triangle} CH_3COONH_4 + 2Ag\downarrow + 3NH_3 + H_2O$$

乙醛与新制氢氧化铜悬浊液反应的化学方程式为：

$$CH_3CHO + 2Cu(OH)_2 \xrightarrow{\triangle} CH_3COOH + \underset{\text{砖红色}}{Cu_2O\downarrow} + 2H_2O$$

分子中含有醛基的物质通常都能与银氨溶液、新制氢氧化铜悬浊液反应，且都有类似乙醛与这些试剂反应所产生的特殊现象。因此，银氨溶液和新制氢氧化铜悬浊液常用于鉴别有机化合物分子中是否含有醛基。

还原反应

醛、酮的羰基可以发生多种还原反应，还原产物一般是醇。

将醛、酮还原成醇可以采取多种方法，如可在铂、镍等催化剂存在时与氢气加成。

$$RCHO + H_2 \xrightarrow{\text{催化剂}} RCH_2OH$$

$$\begin{matrix} R \\ \diagdown \\ \quad C{=}O \\ \diagup \\ R' \end{matrix} + H_2 \xrightarrow{\text{催化剂}} \begin{matrix} R \\ \diagdown \\ \quad CHOH \\ \diagup \\ R' \end{matrix}$$

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

三、糖类

联想·质疑

通过化学必修课程的学习你已知道，葡萄糖、蔗糖、淀粉和纤维素都是糖类，它们的结构和性质是怎样的呢？

糖类是人体所需的重要营养物质之一，糖类与生命活动有什么关系呢？



图 2-3-9　水果中富含糖类物质

从结构上看，**糖类**（glucide）是指分子中有两个或两个以上羟基的醛或酮以及水解后可以生成多羟基醛或多羟基酮的有机化合物。糖类可分为单糖、低聚糖和多糖。1 mol 糖水解后能产生 2～10 mol 单糖的称为低聚糖，其中，能水解成 2 mol 单糖的称为双糖，能水解成3 mol单糖的称为叁糖，依次类推。双糖是最重要的低聚糖。

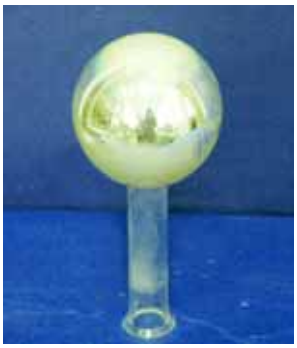


图 2-3-10　葡萄糖与银氨溶液反应产生的“银镜”

1. 单糖

单糖（monosaccharide）是不能水解为更小糖分子的糖类。**葡萄糖**（glucose）和**果糖**（fructose）是两种重要的单糖，二者互为同分异构体，分子式为 $C_6H_{12}O_6$。

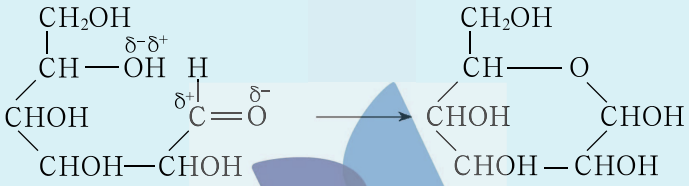
葡萄糖的结构简式为 $CH_2OH—(CHOH)_4—CHO$。

葡萄糖分子中有一个醛基和五个羟基，是一种六碳醛糖。葡萄糖可以发生银镜反应和酯化反应等。

拓展视野

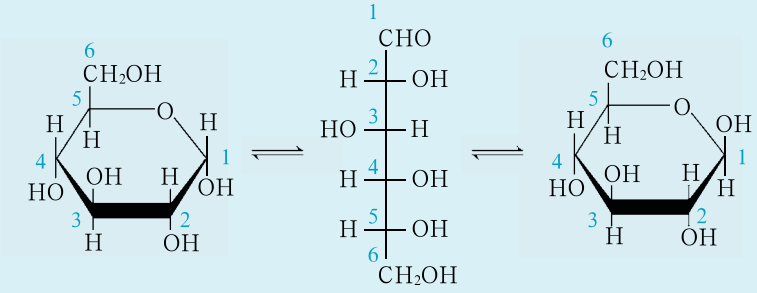
葡萄糖的氧环式结构

葡萄糖分子中的羟基和醛基相互作用形成氧环式结构。葡萄糖分子由链式结构转化为氧环式结构的过程可表示为：



山东出版
SHANDONG PUBLISHING

在葡萄糖的水溶液中，存在着链式结构与氧环式结构的平衡：



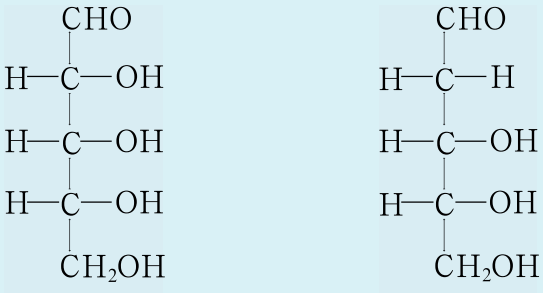
α－D－葡萄糖 36.4%　　链式葡萄糖 <0.002 6%　　β－D－葡萄糖 63.6%

氧环式结构中 C_1 上的羟基与 C_2 上的羟基在同一侧的葡萄糖，称为 α 异构体，不在同一侧的称为 β 异构体。

α－葡萄糖分子间高聚形成淀粉分子，β－葡萄糖分子间高聚形成纤维素分子。

果糖是自然界中甜度最大的单糖，是一种六碳酮糖。

核糖（$C_5H_{10}O_5$）和脱氧核糖（$C_5H_{10}O_4$）是单糖中两种重要的五碳醛糖，其结构简式分别为：



核糖　　2－脱氧核糖

2. 双糖

观察·思考

蔗糖的性质

在两支洁净的试管中各放入1 mL 20%的蔗糖溶液，并在其中一支试管中加入3滴稀硫酸（1∶5）。把两支试管都放在水浴中加热5 min。然后向已经加入稀硫酸的试管中滴加10%的NaOH溶液，至溶液呈碱性，最后向两支试管里各加入2 mL新制银氨溶液，在水浴中加热3～5 min，观察现象。

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

双糖（disaccharide）又称二糖，1 mol双糖能水解成2 mol单糖。常见的双糖有**麦芽糖**（maltose）和**蔗糖**（sucrose）。它们的分子式均为$C_{12}H_{22}O_{11}$，但麦芽糖分子中含有醛基，具有还原性，蔗糖分子中不含醛基，不具有还原性。麦芽糖和蔗糖发生水解反应所得产物不同：

$$\underset{\text{麦芽糖}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + H_2O \xrightarrow[\triangle]{H^+} 2\underset{\text{葡萄糖}}{C_6H_{12}O_6}$$

$$\underset{\text{蔗糖}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + H_2O \xrightarrow[\triangle]{H^+} \underset{\text{葡萄糖}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{果糖}}{C_6H_{12}O_6}$$

3. 多糖

观察·思考

纤维素的水解

把一小团棉花放入一支干净的试管中，加入几滴90%的浓硫酸，用玻璃棒把棉花搅成糊状。小火微热（注意不要使溶液溅出），得到亮棕色溶液。稍冷，滴入3滴2%的$CuSO_4$溶液，并加入过量NaOH溶液中和硫酸至出现氢氧化铜沉淀，加热煮沸，观察现象并说明原因。

多糖（polysaccharide）是1 mol能水解成n mol（$n>10$）单糖的糖类。多糖广泛存在于自然界中，是一类天然有机高分子化合物。常见的多糖有淀粉和纤维素，它们的分子都是由数目巨大的葡萄糖单元相互连接得到的，组成通式为$(C_6H_{10}O_5)_n$。它们在性质上与单糖、双糖有很大的区别，没有甜味且不溶于水。淀粉和纤维素水解的最终产物相同，都是葡萄糖。

$$\underset{\text{淀粉}}{(C_6H_{10}O_5)_n} + n\,H_2O \xrightarrow[\triangle]{H^+} n\,\underset{\text{葡萄糖}}{C_6H_{12}O_6}$$

淀粉（starch）是植物的主要能量储备形式，也是人类膳食中糖类的主要来源。

淀粉除在体内能被酶水解成葡萄糖供机体利用外，在食品工业上还用于制备葡萄糖、酿酒和造醋。淀粉水解后产生的葡萄糖可在酒化酶的作用下产生乙醇。

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{酒化酶}} 2C_2H_5OH + 2CO_2$$



图2-3-11 马铃薯中的淀粉遇碘溶液变蓝

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

淀粉遇到碘溶液时会显蓝色，利用这一特性可以鉴定淀粉的存在。

纤维素（cellulose）是自然界里分布最广的天然高分子化合物。它是植物细胞壁的主要成分，木材成分的50%和棉花成分的90%都是纤维素。纤维素的相对分子质量巨大，如棉花纤维的相对分子质量为60万，苎麻纤维的相对分子质量几乎达到200万。纤维素的分子中约有几千个葡萄糖单元（$C_6H_{10}O_5$），其中每个葡萄糖单元有三个醇羟基，因此纤维素的组成通式也可以写成$[C_6H_7O_2(OH)_3]_n$。纤维素比淀粉难以水解，但可以表现出醇的性质，如可以通过酯化反应制得纤维素硝酸酯（俗名硝酸纤维）、纤维素乙酸酯（俗名醋酸纤维）等。

化学与技术

糖类和可生物降解塑料

目前，由于环境保护和废物再生利用越来越被重视，可生物降解塑料的生产也就越来越引起人们的关注。可生物降解塑料可以用做产品的包装材料和用于制造日常生活中的一次性用品。工业上可用玉米淀粉制造可生物降解塑料，但这种工艺生产成本较高，目前除了用于生产医用塑料之外，在其他领域应用较少。

法国一家制糖厂尝试利用副产物甜菜糖为原料生产可生物降解塑料：首先通过菌类发酵，把甜菜中的糖转化成乳酸（α－羟基丙酸），再通过化学途径，把乳酸分子聚合成聚乳酸制成塑料。这种塑料可以在自然环境中生物降解，并可由生物吸收。

4. 糖类和生命活动

糖类是人类最重要、最廉价的能量来源。1 g 糖类物质可产生16.7 kJ的热量，有人形象地称其为“生命的燃料”。

糖类是植物合成其他化合物的基本原料，并可充当植物的结构材料。糖类还能辅助脂肪的氧化，防止酸中毒，维持心脏和神经系统的正常功能，促进肠蠕动和消化液的分泌。

核糖和脱氧核糖是核糖核酸（RNA）及脱氧核糖核酸（DNA）的重要组成部分。核酸存在于细胞核中，与生命现象有关，在遗传学上具有重要作用。

生命体内，糖类常常与蛋白质构成糖蛋白。许多蛋白质如酶、免疫球蛋白、载体蛋白等都是以糖蛋白的形式存在于人体内的。糖蛋白在生命体受精、发育与自身免疫等过程中，参与复杂的生物化学变化并发挥重要作用。

拓展视野

核酸的结构和生命功能

核酸是具有重要生理功能的一类生物大分子，分为核糖核酸和脱氧核糖核酸两种。

核酸分子由核苷酸聚合而成。核苷酸是核苷中核糖或脱氧核糖与磷酸形成的酯。核苷是由一个含杂环的碱基与一个核糖或脱氧核糖结合形成的。核酸彻底水解后可得到核糖或脱氧核糖。

山东出版 SHANDONG PUBLISHING



核酸对人体生理功能的重要性在于它携带着遗传信息。DNA是遗传物质，生物的遗传信息从DNA传到作为“信使”的RNA，指导蛋白质的合成。基因是DNA分子中具有生物学功能的片断，特定的基因控制细胞制造特定的蛋白质。DNA分子中的一段基因携带着生物体的遗传密码，表现为特定的碱基排列顺序，并且通过DNA复制把遗传信息由亲代传递给子代。

精要概括

醛和酮都是分子中含有羰基的有机化合物，醛分子中羰基的一端连着氢原子，另一端连着烃基或氢原子，而酮分子中羰基的两端都连着烃基。

醛、酮分子中羰基的结构及羰基对某些邻近基团的影响，使得醛、酮可以发生多种化学反应。醛、酮是有机合成中极为重要的物质。

羰基中的碳原子为不饱和碳原子，所以醛、酮能与氢氰酸等试剂发生加成反应；受羰基的影响，醛、酮分子中的α−H活泼性增强；醛、酮既可以发生还原反应，又可以发生氧化反应。

糖类是指分子中有两个或两个以上羟基的醛或酮以及水解后可以生成多羟基醛或多羟基酮的有机化合物。依据分子结构和水解反应的情况可将糖类分为单糖、低聚糖和多糖。重要的单糖有葡萄糖、果糖、核糖和脱氧核糖；双糖是最重要的低聚糖，包括麦芽糖和蔗糖；多糖有淀粉和纤维素。糖类与人类的生活和生命活动密切相关。

练　习

1．写出下列反应的化学方程式：

（1）乙醛与氢氰酸的反应；

（2）乙醛与氨在一定条件下的反应；

（3）乙醛与甲醇在一定条件下的反应；

（4）丙酮与氢气的反应；

（5）丙醛与银氨溶液的反应；

（6）丙醛与新制氢氧化铜悬浊液的反应。

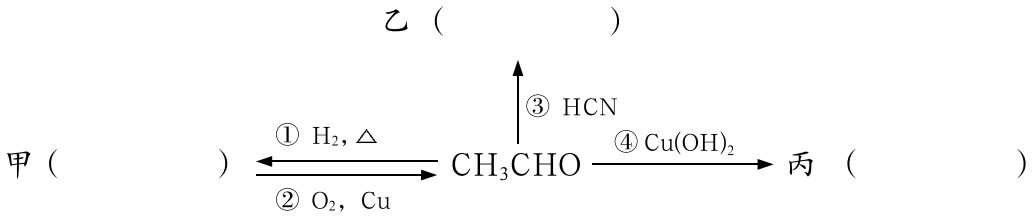
山东出版
SHANDONG PUBLISHING

2．下列各组有机化合物的水溶液，能用新制氢氧化铜悬浊液鉴别的是（　　）。

A．葡萄糖和乙醛　　B．丙醛和丙酮

C．乙醛和乙酸　　D．麦芽糖和葡萄糖

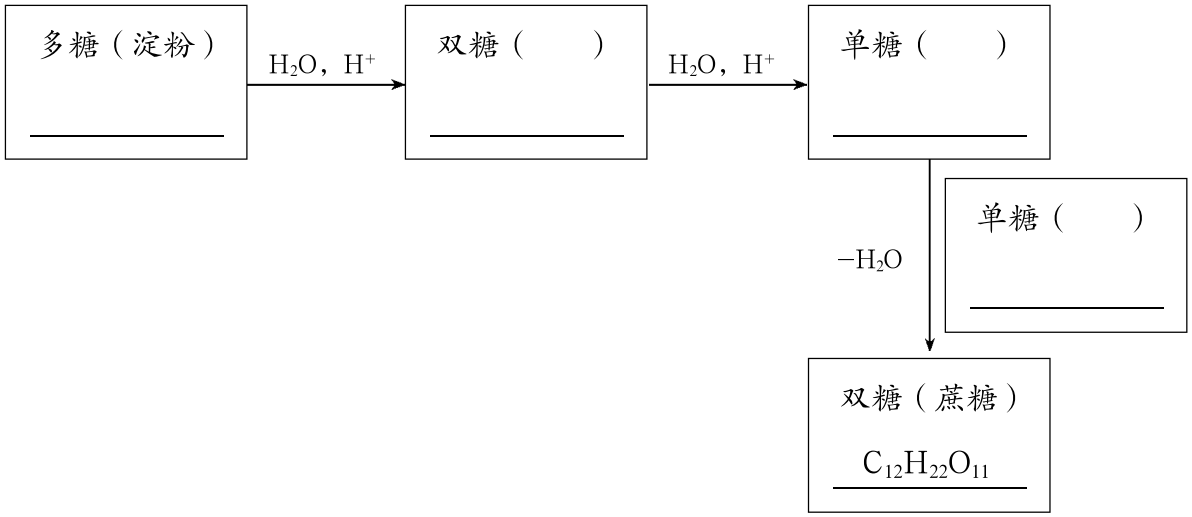
3．醛、酮在有机合成中是非常重要的中间产物。下面列出了乙醛和一些有机化合物的转化关系，请将各反应产物的结构简式填入相应的括号中。



（1）上述反应中分子里碳链增长的反应是＿＿＿＿＿＿＿＿（写反应的序号即可）；

（2）各物质分子中含氧的官能团分别是：甲＿＿＿＿＿＿、乙＿＿＿＿＿＿、丙＿＿＿＿＿＿。

4．下图表示的是糖类物质之间的转化关系，请根据图示写出各物质的名称和分子式。



山东出版 SHANDONG PUBLISHING

第 4 节　羧酸　氨基酸和蛋白质

联想 · 质疑

醋是人类最早认识和使用的具有酸味的有机化合物，其主要成分是乙酸。胆汁是一种能促进脂肪消化的液体，其主要成分是胆酸。多肽和蛋白质是人体内重要的生命物质，组成它们的是氨基酸。乙酸、氨基酸、胆酸都属于羧酸或取代羧酸。羧酸的组成是怎样的？决定其性质的官能团是什么？

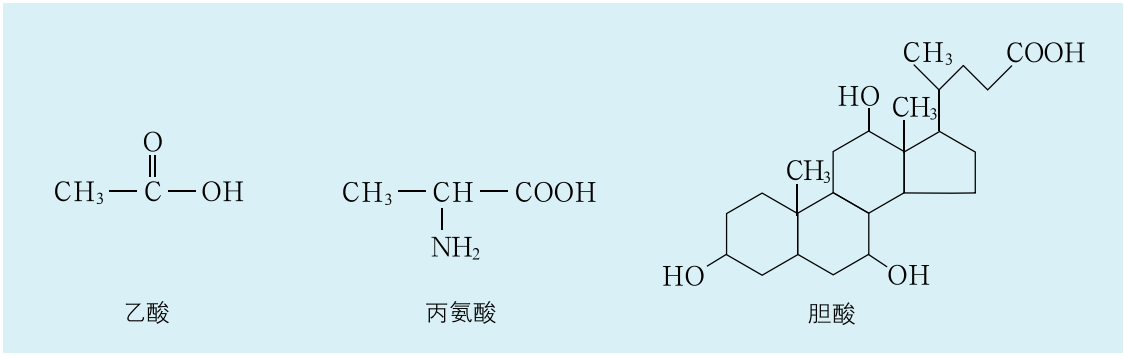


图 2-4-1　乙酸、丙氨酸、胆酸的结构简式

蛋白质是人体必需的重要营养物质之一。蛋白质与生命活动有什么关系呢？

一、羧酸

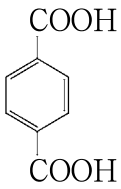
羧酸在自然界里广泛存在，与人类生活关系密切。例如，许多羧酸是生物体代谢过程中的重要物质；食用油脂是羧酸的甘油酯；用于制造尼龙这种合成纤维的重要原料之一——己二酸也是羧酸。

1. 羧酸概述

分子由烃基（或氢原子）和羧基相连而组成的有机化合物叫做**羧酸**(carboxylic acid)，羧基 $-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH$（$-COOH$）是羧酸的官能团。

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

根据分子中烃基种类的不同，羧酸可以分为脂肪酸（如乙酸、硬脂酸）和芳香酸（如苯甲酸）。

根据分子中羧基数目的不同，羧酸可以分为一元羧酸、二元羧酸等。分子中有一个羧基的羧酸称为一元羧酸，如乙酸；分子中有两个羧基的羧酸称为二元羧酸，如乙二酸（HOOC—COOH）、对苯二甲酸（）。

知识支持

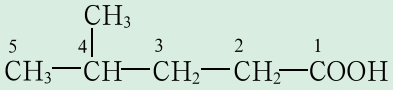
羧酸命名

1．选取含有羧基的最长碳链作为主链，按主链碳原子数称为“某酸”。

2．从羧基开始给主链碳原子编号。

3．在“某酸”名称之前加上取代基的位次号和名称。

例如：



4–甲基戊酸

分子中碳原子数在4以下的羧酸能与水互溶。随着分子中碳链的增长，羧酸在水中的溶解度迅速减小，直至与相对分子质量相近的烷烃的溶解度相近。

羧酸的沸点较高，这与羧酸分子间可以形成氢键有关。羧基中有两个氧原子，既可以通过羟基氧和羟基氢形成氢键，也可以通过羰基氧和羟基氢形成氢键。由于羧酸分子形成氢键的机会比相对分子质量相近的醇多，所以羧酸的沸点比相应的醇的沸点高。例如，乙酸和1–丙醇的相对分子质量都是60，但乙酸的沸点为118℃，1–丙醇的沸点为97.4℃。

甲酸（methanoic acid）是组成最简单的羧酸，结构简式为HCOOH，它最早是从蚂蚁体内提取出来的，故又称蚁酸。甲酸是有刺激性气味的无色液体，有腐蚀性，能与水、乙醇、乙醚、甘油等互溶。甲酸在工业上可用做还原剂，在医疗上可用做消毒剂。

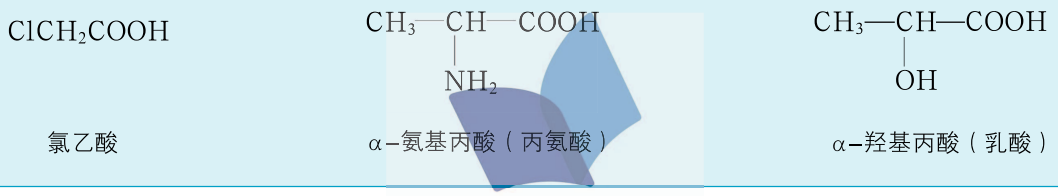
苯甲酸（benzoic acid）俗称安息香酸，是组成最简单的芳香酸。苯甲酸是白色针状晶体，易升华，微溶于水，易溶于乙醇、乙醚。苯甲酸及其钠盐或钾盐常用做食品防腐剂。

乙二酸（ethanedioic acid）俗称草酸，是组成最简单的二元羧酸，它的结构简式为HOOC—COOH。乙二酸是无色透明晶体，通常含有结晶水，能溶于水或乙醇，以钠盐或钙盐形式广泛存在于植物中。草酸钙（CaC_2O_4）难溶于水，是人体肾结石和膀胱结石的主要成分。

资料在线

取代羧酸

羧酸分子中烃基上的氢原子被其他官能团所取代的羧酸称为取代羧酸。常见的取代羧酸有卤代酸、氨基酸、羟基酸等，如：



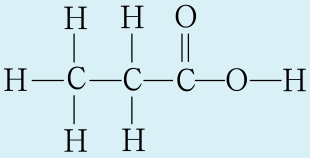
氯乙酸　　α–氨基丙酸（丙氨酸）　　α–羟基丙酸（乳酸）

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

2. 羧酸的化学性质

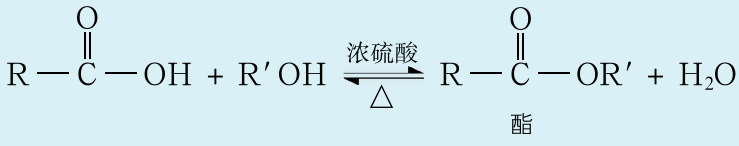
交流·研讨

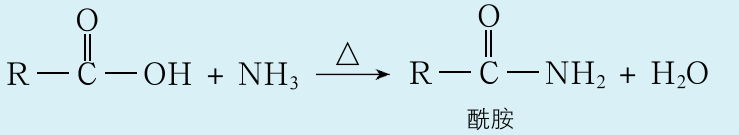
下式是丙酸分子的结构式，请在式中标出可能发生化学反应的部位，并推测可能发生什么类型的化学反应。



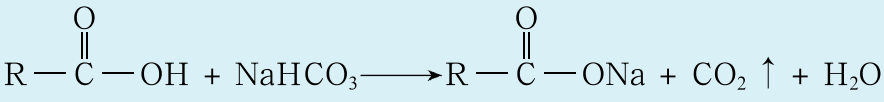
可能发生化学反应的部位	可能发生反应的类型

羧基由羰基和羟基组成，由于官能团之间的相互影响，使得羧酸的化学性质并不是羟基具有的化学性质和羰基具有的化学性质的简单加和。与醇羟基相比，羧基中的羟基也可以发生取代反应。





羧基中羟基上的氢原子更容易以离子形式电离出来，所以羧酸有酸性，其酸性强于碳酸。



与醛、酮的羰基相比，羧基中的羰基较难发生加成反应，只有在特定条件或催化剂作用下，反应才能进行。

羧酸很难通过催化加氢的方法被还原，用强还原剂如氢化铝锂（$LiAlH_4$）时才能将羧酸还原为相应的醇。另外，羧酸分子中的 α－H 较活泼，易被取代。

表 2−4−1　　羧酸的其他化学性质

化学性质	化学反应举例	用途举例
还原反应	$RCOOH \xrightarrow{LiAlH_4} RCH_2OH$	在有机合成中可用此反应实现羧酸向醇的转化
α−H 被取代的反应	$RCH_2COOH + Cl_2 \xrightarrow{\text{催化剂}} RCHCOOH + HCl$（Cl）	通过羧酸 α−H 的取代反应，可以合成卤代酸，进而制得氨基酸、羟基酸等

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

3. 羧酸衍生物——酯

羧酸分子中羧基上的羟基被其他原子或原子团取代得到的产物称为**羧酸衍生物**（carboxylic acid derivative），羧酸分子中的羧基去掉羟基后剩余的基团称为酰基（$R\overset{O}{\overset{\|}{C}}-$或RCO−）。酯是一种羧酸衍生物，其分子由酰基和烃氧基（RO−）相连构成。

酯（ester）广泛存在于自然界中，密度一般比水小，难溶于水，易溶于乙醇和乙醚等有机溶剂。低级酯是有香味的液体，许多水果和花草的气味就是由其含有的酯产生的。很多果味食品并不一定是用鲜果制成的，而是添加了相应的酯。油脂是人类不可缺少的食物，其化学成分为高级脂肪酸甘油酯。

酯具有广泛的用途。很多香精、药物本身就是酯。例如，广泛用于农业生产和家庭除虫的低毒高效杀虫药拟除虫菊酯就是一种酯；某些抗生素如红霉素为大环内酯，也属于酯。

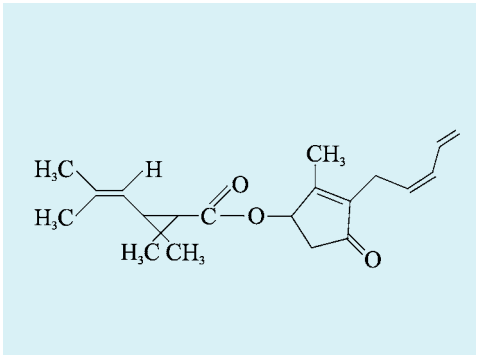


图 2-4-2 除虫菊酯 I 的化学结构

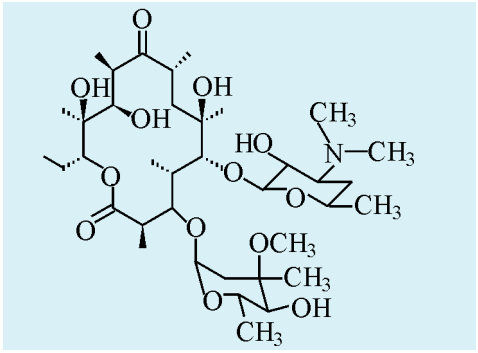
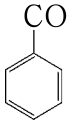


图 2-4-3 红霉素的化学结构

酯能水解是酯的重要化学性质。酯就是依据水解后生成的酸和醇的名称来命名的。例如，$HCOOC_2H_5$ 水解后生成甲酸和乙醇，故称甲酸乙酯。再如， 水解后生成苯甲酸和甲醇，故称苯甲酸甲酯。

在酸或碱催化的条件下，酯可以发生水解反应生成相应的酸和醇。酯的水解反应是酯化反应的逆反应。

$$R-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OR' + H-OH \underset{\triangle}{\overset{H^+}{\rightleftharpoons}} R-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OH + R'OH$$

酯在碱性条件下的水解程度大于在酸性条件下的水解程度，其主要原因是在碱性条件下，酯水解产生的羧酸可以与碱发生反应，使羧酸浓度减小，即减小了生成物的浓度，化学平衡向正反应方向移动，使酯的水解程度加大。此时，酯的水解反应可用下式表示：

$$R-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OR' + NaOH \xrightarrow[\triangle]{H_2O} R-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-ONa + R'OH$$

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

同样道理，以羧酸和醇制备酯时，往往通过增加一种反应物的用量来提高酯的收率。究竟使用过量的酸还是使用过量的醇，要根据哪一种反应物容易得到、成本较低又易于回收来确定。另一种提高酯的收率的方法是不断地从反应体系中移走生成的酯或水，以使平衡向酯化反应方向移动。

知识支持

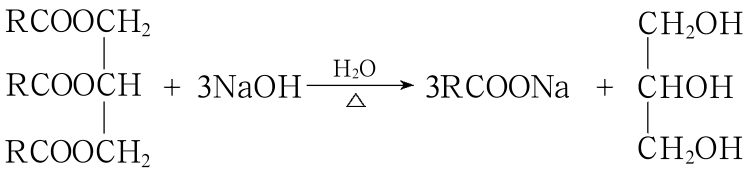
浓度对化学平衡的影响

研究表明，温度、压强、浓度的改变会使化学平衡发生移动。其他条件不变时，增大反应物浓度或减小生成物浓度，化学平衡向正反应方向移动；减小反应物浓度或增大生成物浓度，化学平衡向逆反应方向移动。

活动·探究

肥皂的制备

肥皂的主要成分是高级脂肪酸盐（钠盐或钾盐）。高级脂肪酸盐可通过油脂在碱性条件下水解制得，所以油脂在碱性条件下的水解反应又称为皂化反应。



高级脂肪酸甘油酯　　高级脂肪酸钠　　甘油

请按以下方法制备肥皂，并总结制备肥皂的最佳条件。

1．向烧杯中加入20 g油脂、10 mL无水乙醇和22 mL 30%的NaOH溶液，加热搅拌。当液面出现泡沫后，应加强搅拌；当泡沫覆盖整个液面时，停止加热。

2．向皂化产物中缓缓加入适量的饱和食盐水（或食盐细粒）并搅拌，冷却后分离出上层的高级脂肪酸钠。

3．向分离出的高级脂肪酸钠中加入4 mL Na_2SiO_3饱和溶液（或4 g松香），倒入模具中，冷凝固化。

请回答下列问题：

1．在制备过程中，加入饱和NaCl溶液和乙醇的作用分别是什么？

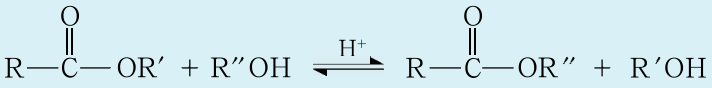
2．有的同学制出的肥皂中仍含有油脂，你认为是什么原因造成的？可采取哪些措施来避免这种情况的出现？

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

拓展视野

酯的醇解

与水解反应类似，酯还可以发生醇解反应。在酸或醇钠催化下，一种酯与一种醇反应生成另一种酯和另一种醇，这种反应称为醇解反应，也称为酯交换反应。



酯交换反应也可以发生在酯与羧酸之间，一种酯与一种羧酸反应生成另一种酯与另一种羧酸。酯交换反应在有机合成中有重要用途，常用于制备利用酯化反应难以获得的酯。

其他羧酸衍生物

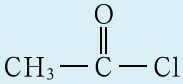
常见的羧酸衍生物有酰卤、酸酐、酰胺等。

由酰基与卤素原子（–X）相连组成的羧酸衍生物称为酰卤，如乙酰氯。

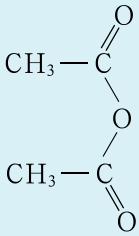
由酰基与酰氧基（  ）相连组成的羧酸衍生物称为酸酐，如乙酸酐。

由酰基与烃氧基（RO–）相连组成的羧酸衍生物称为酯，如乙酸乙酯。

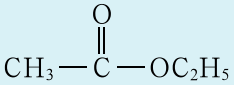
由酰基与氨基（$-NH_2$）相连组成的羧酸衍生物称为酰胺，如乙酰胺。



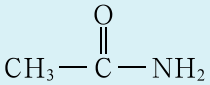
乙酰氯



乙酸酐



乙酸乙酯



乙酰胺

羧酸衍生物是一类重要的有机化合物，是重要的有机试剂。酰卤和酸酐可向有机化合物分子中引入酰基，是良好的酰化试剂。当与水、醇、氨等物质发生反应时，一种羧酸衍生物可生成含有酰基的新物质如羧酸或转化为其他羧酸衍生物。

二、氨基酸和蛋白质

联想·质疑

蛋白质是生命的物质基础，是生命活动的主要承担者。蛋白质在机体中发挥着多种生理作用。蛋白质能够供给机体营养、提供保护机能、输送氧气、防御病菌侵袭、控制代谢过程等。

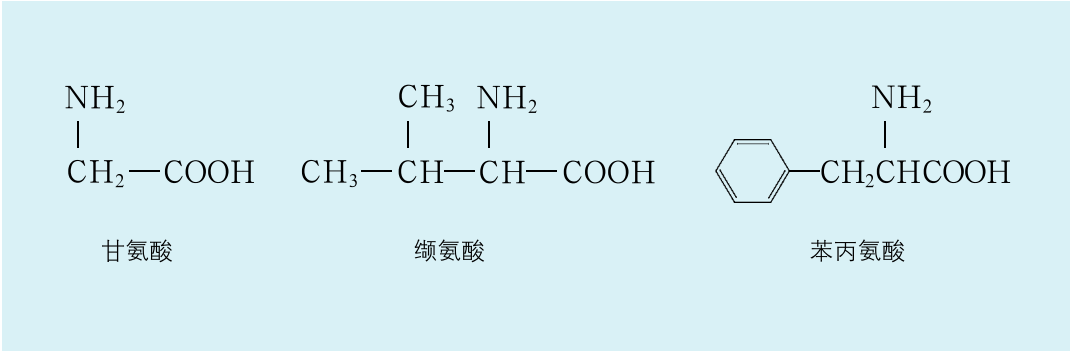
多肽也是一种在生命过程中有着十分重要作用的物质。蛋白质和多肽都由氨基酸组成。

请你思考：蛋白质和多肽有什么区别？它们与氨基酸有什么关系？究竟是什么样的结构决定着蛋白质具有丰富的生理功能？

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

1. 氨基酸

从结构上看，**氨基酸**（amino acid）是氨基取代了羧酸分子中烃基上的氢原子形成的取代羧酸。蛋白质水解后可以得到氨基酸且得到的均为α-氨基酸，即分子中氨基和羧基连在同一个碳原子上的氨基酸，其结构可表示为$R-\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{|}{CH}}-COOH$。R基团不同，氨基酸的功能和用途也会有所不同。常见的α-氨基酸有许多种，例如：



构成蛋白质的氨基酸有20种，其中有8种是人体不能合成的，需要从食物中摄取，它们是赖氨酸、蛋氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、缬氨酸、苏氨酸、苯丙氨酸和色氨酸。这8种氨基酸称为必需氨基酸。肉、蛋、鱼、奶、豆类食物是人体必需氨基酸的主要来源。

氨基酸分子中既含有氨基又含有羧基，是一种两性化合物，通常以两性离子形式存在。溶液的pH不同，氨基酸分子可以发生不同的解离。

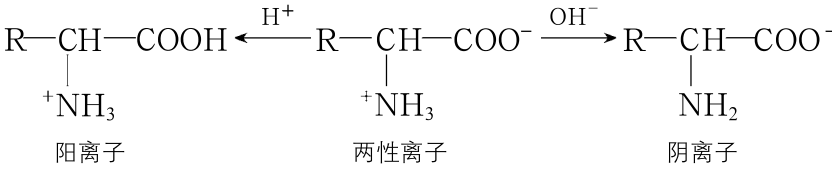


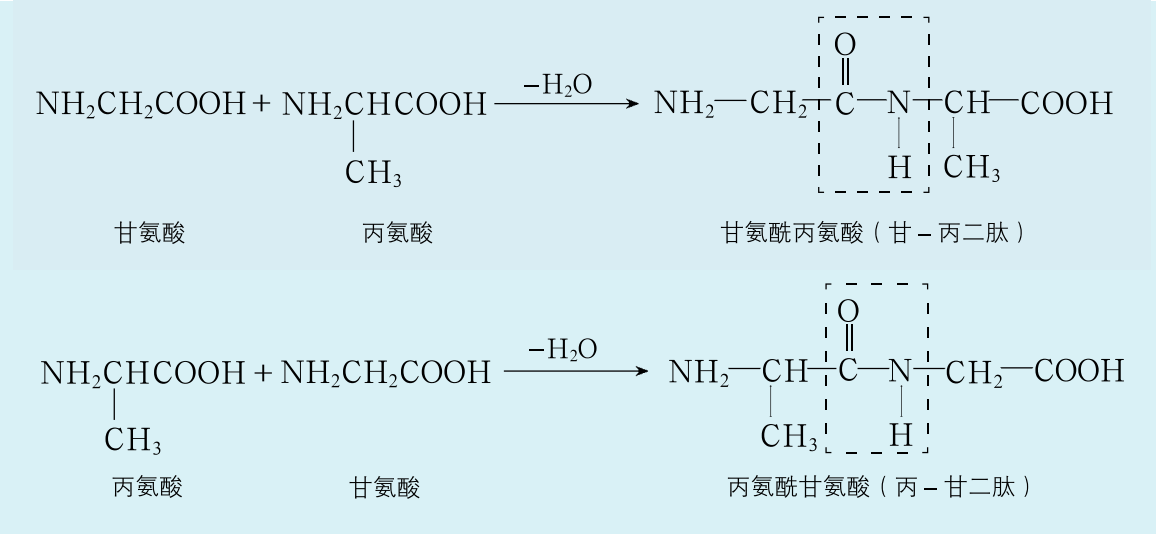
图2-4-4　氨基酸解离示意图

2. 多肽

一个α-氨基酸分子的羧基与另一个α-氨基酸分子的氨基脱去一分子水所形成的酰胺键$-\overset{\displaystyle O}{\overset{\|}{C}}-\overset{\displaystyle H}{\overset{|}{N}}-$称为**肽键**（peptide bond），生成的化合物称为肽。由两个氨基酸分子脱水缩合形

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

成的是二肽，由三个氨基酸分子脱水缩合形成的是三肽，依次类推。例如，甘氨酸和丙氨酸可生成两种二肽。



三肽以上均可称为**多肽**（polypeptide）。生物体中存在着一些具有特殊功能的多肽。例如，谷胱甘三肽是由谷氨酸、半胱氨酸和甘氨酸脱水缩合而成的，它参与人体细胞内的氧化还原作用，临床上可作为解毒药。

3. 蛋白质

蛋白质（protein）是由α－氨基酸分子按一定的顺序、以肽键连接起来的生物大分子，分子中通常含有50个以上的肽键，相对分子质量一般在10 000以上，有的高达数千万。

α－氨基酸是构成蛋白质的物质基础，α－氨基酸分子的排列顺序决定了蛋白质的特殊功能。α－氨基酸分子脱水缩合形成多肽时是按一定线性顺序排列的，这种顺序就是蛋白质的基本结构，也称蛋白质的一级结构。

蛋白质结构中个别氨基酸发生改变时，将会改变蛋白质的生物活性。例如，在非洲流行的镰刀型贫血病的病因是病人的血红蛋白分子中原本应该是谷氨酸的位置换成了缬氨酸。由此可见，蛋白质的结构与功能是具有高度统一性的。

拓展视野

蛋白质的空间结构

α－氨基酸分子间脱水缩合形成多肽时的线性排列顺序，构成了蛋白质的一级结构。

在一条多肽链中，不相邻的碳氧双键和氮氢键之间可以生成氢键，使多肽链具有规则的结构，这就构成了蛋白质的二级结构。

在蛋白质二级结构的基础上，同一条多肽链中的氨基酸残基之间可以生成氢键、二硫键（－S—S－）等，使二级结构再按照一定的形状卷曲，这就是蛋白质的三级结构，它是一种三维的空间结构状态。

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

由几条相同的多肽链组成的空间结构状态称为蛋白质的均一四级结构，由几条不同的多肽链组成的空间结构状态称为蛋白质的非均一四级结构。它们是蛋白质分子的最高级结构。

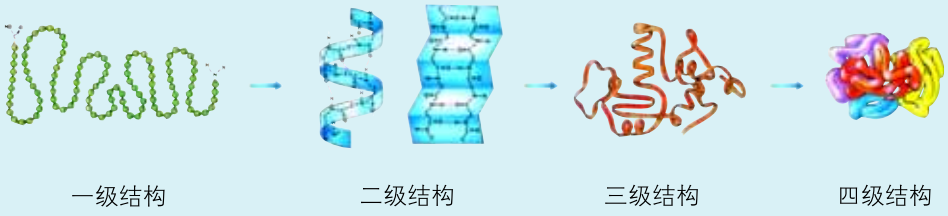
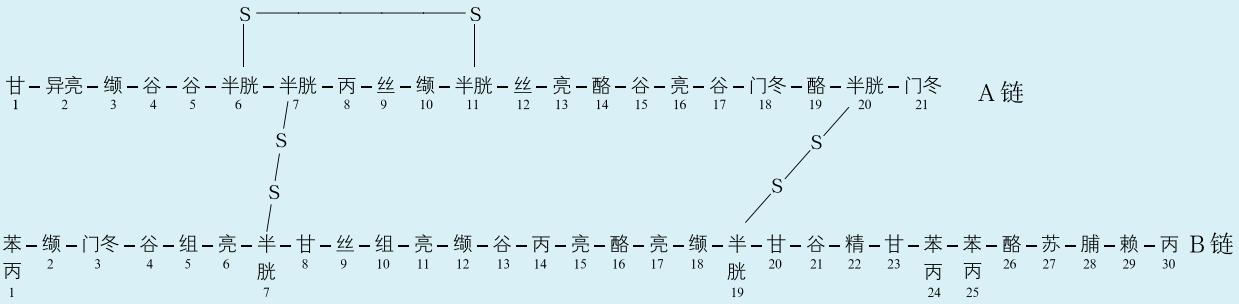


图 2–4–5　蛋白质结构示意图

例如，牛胰岛素的结构可表示为：



4. 酶

酶（enzyme）是一种高效的生物催化剂，生物体新陈代谢过程中的许多化学反应都是在酶的催化作用下进行的。生物体内的大多数酶是蛋白质。

酶催化的主要特点是：

（1）需要比较温和的条件。当人体体温和血液 pH 处于正常值（体温约为 37℃，血液 pH 约为 7）时，酶才能够发挥较好的催化作用。

（2）具有高度的专一性。某一种酶仅对某种物质的给定反应起催化作用生成一定的产物，就像“一把钥匙开一把锁”一样。例如，脲酶只能催化尿素的水解反应（生成氨和二氧化碳）。再如，麦芽糖酶只能催化麦芽糖的水解反应，蔗糖酶只能催化蔗糖的水解反应。

（3）效率非常高。酶在复杂的生物合成中所起的催化作用是目前任何化学工业使用的化学催化剂都无法比拟的。酶的催化效率是普通催化剂的 $10^7 \sim 10^{13}$ 倍。例如，对于双氧水（过氧化氢）分解为水和氧气的反应，如果用过氧化氢酶催化，反应速率可以提高 10^9 倍。

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

资料在线

我国科学家在生命科学研究领域中的贡献

探索生命的奥秘自古以来就是人类的梦想。蛋白质作为生命存在的形式，一直是生命科学研究的焦点，我国科学家在此研究领域中做出了巨大贡献。

1965年，我国科学家汪猷、邢其毅、钮经义等首次由氨基酸合成了结晶牛胰岛素，这是第一个全人工合成的、与天然产物性质完全相同的、有生物活性的蛋白质。这一举世瞩目的成就博得了国际科学界的高度评价。

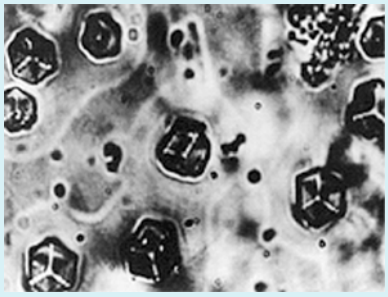


图2-4-6 牛胰岛素结晶

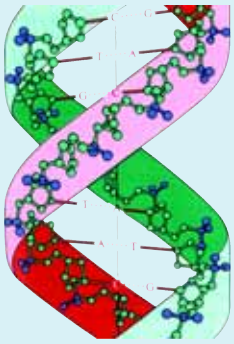


图2-4-7 DNA上的碱基

20世纪90年代，我国科学家参加了人类基因组计划。人类基因组计划的核心内容是测定人类基因组的全部DNA序列（约30亿个碱基对的序列），破译人类全部遗传信息，使人类在分子水平上全面地认识自我。我国科学家承担了约3 000万个碱基对的测序任务。这一任务的完成，表明我国在基因组学研究领域已经达到了国际先进水平。

2002年，由我国科学家领导的人类肝脏蛋白质组计划正式启动。这是国际人类蛋白质组计划项目之一。蛋白质组计划的实施旨在解析蛋白质在特定生理、病理过程中的功能意义，将为疾病的预警、预防、诊断和治疗提供科学依据。人类肝脏蛋白质组计划的启动，说明我国科学家已站在了生命科学研究领域的最前沿。

人类对生命科学的探索之路还很漫长，随着我国国力的不断增强，我国科学家将会通过自己的不懈努力，在生命科学研究领域为人类社会的进步做出更大的贡献！

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

精要概括

羧酸是分子由烃基（或氢原子）和羧基相连组成的有机化合物，羧酸的官能团是羧基。羧基由羰基和羟基直接相连组成，羧酸的化学性质是羰基和羟基相互作用的结果。由于羰基的影响，羟基上的氢原子较容易电离，使羧酸表现出酸性；又由于羟基的影响，羧基中的羰基比醛、酮分子中的羰基难发生加成反应。另外，受羧基的影响，羧酸分子中的α－H较活泼，易被取代。

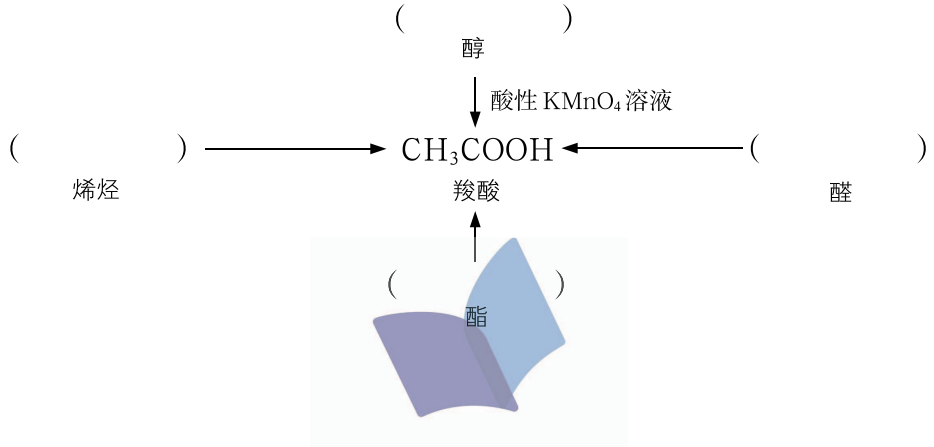
酯是一种羧酸衍生物，可以发生水解反应等。油脂在碱性条件下水解可以制得肥皂的主要成分——高级脂肪酸盐。

氨基酸是一种取代羧酸，其分子中既含有氨基又含有羧基。α－氨基酸是构成蛋白质的物质基础，它们的分子通过肽键形成多肽和蛋白质。α－氨基酸分子在多肽链中的排列顺序构成了蛋白质的基本结构。

酶在生物体中发挥着重要的生理作用，其中大多数酶是蛋白质。

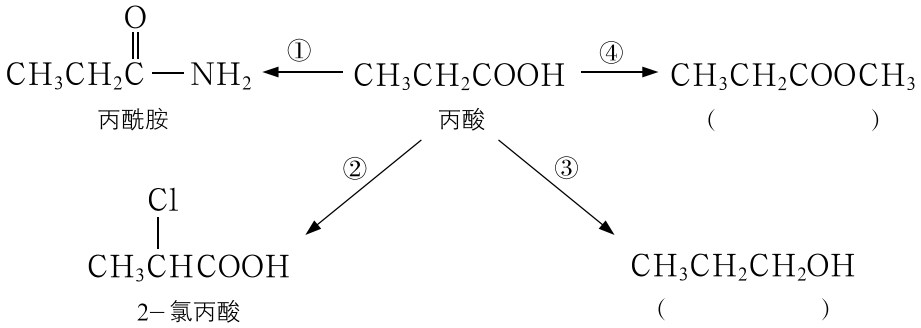
练　习

1．下图表明烯烃、醇、醛、酯等类有机化合物均可以转化为羧酸。请你在括号内填写相应物质的结构简式。



山东出版
SHANDONG PUBLISHING

2．下图表示的是丙酸与其他物质间的转化关系，请在括号内填写有关物质的名称，并写出与序号①、②、④对应的反应的化学方程式。



3．判断下列说法是否正确，并说明理由。

（1）分子中含有羧基的物质溶于水后，溶液一定显酸性。

（2）甲酸乙酯、乙酸甲酯、丙酸互为同分异构体。

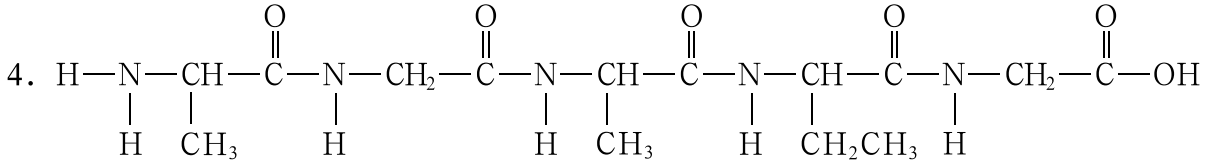
（3）甲醛、乙酸、甲酸甲酯三种有机化合物的碳、氢、氧的质量比相同。

（4）RCOOH与R′OH发生酯化反应时生成RO—C(=O)—R′。

（5）能与NaOH溶液发生反应，分子式为$C_2H_4O_2$的有机化合物一定是羧酸。

（6）甲酸能发生银镜反应。

（7）$CH_3—\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}—\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}—CH_2—CH_2—COOH$的名称为2,3－二甲基己酸。

4．

是一种由三种α－氨基酸分子脱水缩合生成的五肽的结构简式。这种五肽彻底水解时，不可能产生的氨基酸是（　　）。

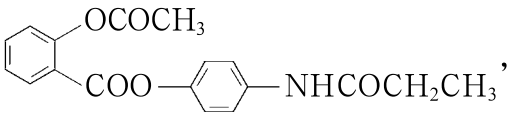
A．$CH_3—\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{|}{CH}}—COOH$

B．$CH_3—CH_2—\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{|}{CH}}—COOH$

C．$NH_2—CH_2—COOH$

D．$CH_3—\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{|}{CH}}—CH_2—COOH$

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

5．某种解热镇痛药主要化学成分的结构简式为，

当它在碱性条件下水解并酸化后，得到_____种有机产物，它们的结构简式分别为_____。

6．羧酸和醇发生酯化反应的过程如下式所示：

$$R'-O-H+R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH \xrightarrow[\triangle]{\text{浓硫酸}} R-\overset{\overset{OH}{|}}{\underset{\underset{OR'}{|}}{C}}-OH \xrightarrow{-H_2O} R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OR'$$

由此可见酯化反应并不是简单的取代反应。请你分析此过程中包含哪些类型的有机化学反应。

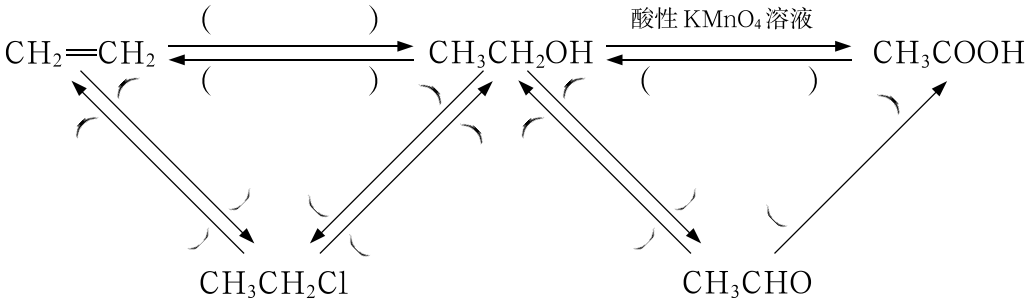
7．健康专家建议青少年每天都要摄入一定量的蛋白质。请利用所学的知识说明人为什么要从食物中摄取蛋白质，食物中的蛋白质是怎样转化为人体蛋白质的。

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

本章自我评价

1．通过本章的学习，你对各类烃的衍生物都有哪些新的认识？它们的官能团各有什么结构特点？官能团的结构决定了它们具有怎样的性质？各类物质之间的转化关系如何？请根据你的理解画出本章的知识网络图。

2．填写下图中各反应发生时所需要的试剂，写出相应的化学方程式并标明反应类型。



第 2 题图

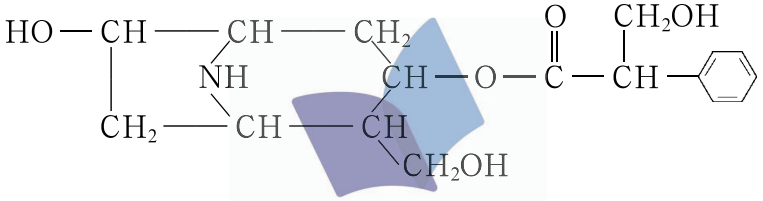
3．请填写下表。

物质名称	甲醇	苯酚	甲醛	乙醛	甲酸	乙酸乙酯
状态（常温、常压）						
水溶性						

4．一定量的某饱和一元醛发生银镜反应可得21.6 g银；将等量的该醛完全燃烧，生成3.6 g水。此醛可能是（　　）。

A．甲醛　　B．乙醛　　C．丙醛　　D．丁醛

5．某有机化合物A的结构简式如下：



山东出版
SHANDONG PUBLISHING

（1）A 的分子式是_____。

（2）A 在 NaOH 溶液中加热反应得到 B 和 C，C 分子中含有苯环。B 和 C 的结构简式是：B_____，C_____。该反应属于_____反应。

（3）室温下，C 用稀盐酸酸化得到 E，E 的结构简式是_____。

（4）在下列物质中，不能与 E 发生化学反应的是（填写序号）_____。

① 酸性 $KMnO_4$ 溶液　② $FeCl_3$ 溶液　③ Na_2CO_3 溶液　④ 丁烷

6．请按照以下方案自己动手做酸甜可口的糯米酒，想想制作过程中发生了哪些你所知道的化学变化。

原料：糯米 1 kg，酒曲 10 g。

制作：

（1）称取 1 kg 糯米，洗净后，用凉水浸泡 12 小时，以手指能捏成粉末为好。

（2）沥去水，把糯米放在蒸锅里蒸熟蒸透，使米粒无白心，不黏不烂为好。

（3）将蒸熟的糯米盛放在洁净的面盆里，用筷子将糯米挑松，冷却至 30℃～35℃。将 10 g 酒曲研成粉末，加入少量温开水或冷开水调成浑浊液，分数次（留下少量）加入糯米中，搅拌均匀，使其分散成粒状。

（4）把拌匀酒曲的糯米倒进洁净、用开水烫过（作用是灭菌、加热容器）的容器中，轻轻压实，在中间留有一个直径为 1～2 cm、深入底部的小圆孔，再在糯米表面撒一点酒曲粉。然后将容器盖好，放在 30℃～35℃的环境中保温 2 天（必要时用装有温水的热水袋加热），发酵基本完成，即制得甜酒酿。

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

第3章

有机合成及其应用
——合成高分子化合物

有机合成赋予人类神奇的创造力，它使人们能用最简单的原料和反应制造出各种各样的有机化合物，包括自然界里已有的和人们需要但自然界中又不存在的有机化合物。从衣食住行离不开的日用化学品到高新科技所依赖的新型功能高分子材料，都可以利用有机合成制造出来，这极大地促进了社会发展和人类文明的进步！

通过本章的学习，你不仅可以了解有机合成的基本方法和程序，还可以提高分析问题和解决问题的能力，更深刻地体会有机化学的价值。

第1节　有机化合物的合成

第2节　有机化合物结构的测定

第3节　合成高分子化合物

本章自我评价

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

第 1 节　有机化合物的合成

联想 · 质疑

自1828年德国化学家维勒人工合成尿素以来，人类运用有机化学手段合成出许许多多自然界里存在的物质，也创造性地合成出许许多多自然界里并不存在的物质！有机合成的产物被广泛地应用于农业、轻工业、重工业和国防工业中。正如著名的有机合成化学家伍德沃德（R.B.Woodward）所说，有机合成的威力体现为在“老的自然界”旁边再建立起一个“新的自然界”。

在你的学习、生活中，你体会到有机合成的重要性了吗？你思考过合成有机化合物需要解决哪些问题吗？



图 3-1-1　化学家在合成有机化合物

有机合成是有机化学中最令人关注的领域之一。从染料、炸药、农药和医药的合成，到塑料、合成橡胶和合成纤维等高分子化合物的合成，再到具有生物活性的一系列天然产物的全合成，无一不在改变着物质世界的面貌。

经过多年来的科学实践，有机合成已经建立起一整套科学方法和工作程序：对于自然界里已经存在的有机化合物，可以先测定其结构，再设计一定的合成路线来合成它们；也可以修改它们的结构、改良它们的性能，使它们更好地适应现代人类生产、生活的需要。而当人们需要某种具有特殊性质或功能的有机化合物时，则要先明确这种有机化合物应该具备什么样的结构，再进行合成工作。

在进行合成工作时，首先要进行合成路线设计，其核心在于构建目标化合物分子的碳骨架，引入所必需的官能团；然后根据可行的合成路线和步骤合成样品，并对其进行分离纯化；最后对纯化了的样品进行结构测定，试验其性质或功能。如果制得了所需要的有机化合物，就可进行大量合成；否则，需要审查原来的合成路线并予以改进或重新设计。

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

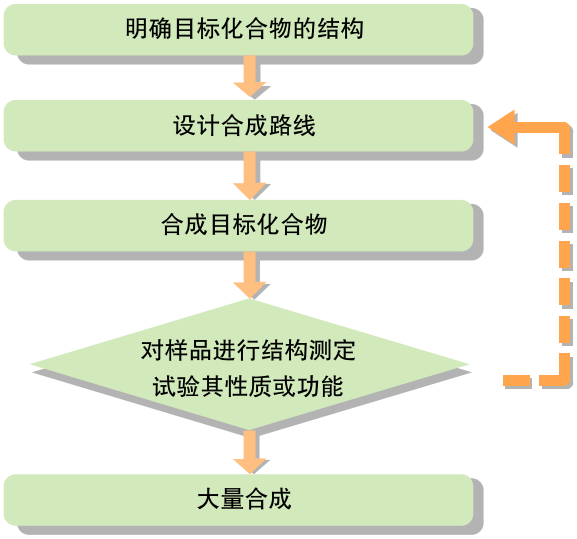


图 3-1-2 有机合成流程示意图

一、有机合成的关键——碳骨架的构建和官能团的引入

1. 碳骨架的构建

任何有机化合物的分子都是由特定碳骨架构成的，构建碳骨架是合成有机化合物的一项重要任务。构建碳骨架，包括在原料分子及中间化合物分子的碳骨架上增长或减短碳链、成环或开环等。

有机合成所用的有机原料物分子中的碳原子数若小于目标化合物分子中的碳原子数，在合成中就需要增长碳链。增长碳链是通过一定的化学反应来实现的，卤代烃的取代反应就可用于增长碳链。例如，溴乙烷与氰化钠反应时，溴原子被氰基取代而生成氰化物；该氰化物在酸性条件下水解，可以得到比溴乙烷分子多一个碳原子的丙酸分子。这一转化可表示为：

$$CH_3CH_2Br + NaCN \longrightarrow \underset{\text{丙腈}}{CH_3CH_2CN} + NaBr$$

$$CH_3CH_2CN \xrightarrow{H_2O,\ H^+} \underset{\text{丙酸}}{CH_3CH_2COOH}$$

拓展视野

用炔钠增长碳链

溴乙烷和丙炔钠反应可以使炔烃分子增加两个碳原子。

$$CH_3CH_2Br + NaC{\equiv}CCH_3 \longrightarrow \underset{\text{2-戊炔}}{CH_3CH_2C{\equiv}CCH_3} + NaBr$$

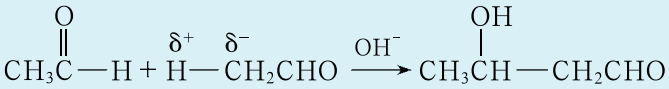
此反应所需要的丙炔钠可用以下反应制得：

$$2CH_3C{\equiv}CH + 2Na \xrightarrow{\text{液氨}} \underset{\text{丙炔钠}}{2CH_3C{\equiv}CNa} + H_2$$

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

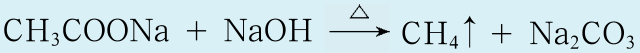
利用羟醛缩合反应增长碳链

受羰基吸电子作用的影响，醛分子中的α－H活泼性增强。在一定条件下，分子中含有α－H的醛会发生分子间加成反应。例如：



由于加成产物的分子中既有羟基又有醛基，故这一反应称为羟醛缩合反应。羟醛缩合反应可以增长碳链，在有机合成中有着重要用途。

碳链的减短在有机合成中也有所应用。烯烃、炔烃的氧化反应是减短碳链的有效途径。羧酸或羧酸盐脱去分子中的羧基放出二氧化碳的反应也可以使分子中的碳链减短，得到比羧酸盐少一个碳原子的烷烃。例如，无水醋酸钠与氢氧化钠（通常用碱石灰——氢氧化钠与氧化钙的混合物）共热脱去羧基可生成甲烷。



2. 官能团的引入与转化

交流·研讨

关于官能团相互转化的基本反应，你在前面的有关章节里已经学习过。请与同学们从以下几个方面对所学知识进行整理，以乙烯为起始物列出相应的实例。

在碳链上引入卤原子的途径：

_____；

_____；

_____。

在碳链上引入羟基的途径：

_____；

_____；

_____。

在碳链上引入羰基的途径：

_____；

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

_____；

_____。

在碳链上引入羧基的途径：

_____；

_____；

_____。

官能团的转化在有机合成中极为常见，可以通过取代、消去、加成、氧化、还原等反应来实现。图3-1-3表示的是以乙烯为起始物，通过一系列化学反应实现的某些官能团间的相互转化。

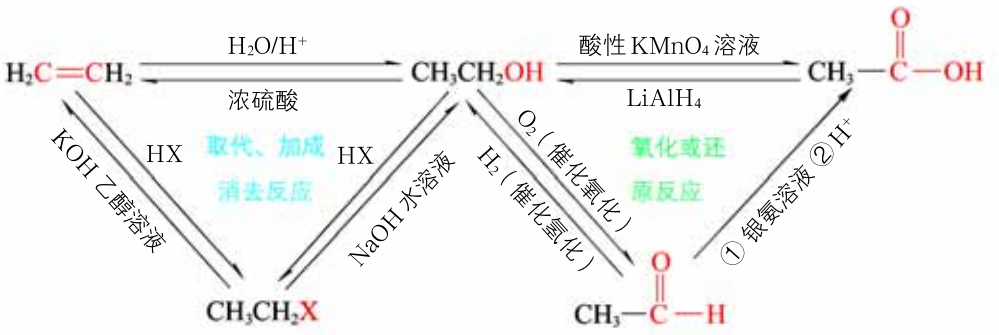


图3-1-3 官能团间的相互转化示例

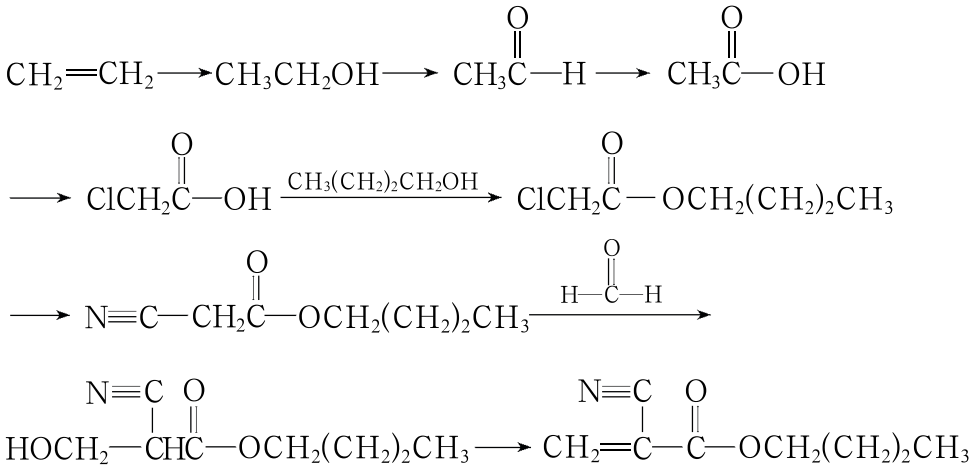
二、有机合成路线的设计

设计有机合成的路线，可以从确定的某种原料分子开始，逐步经过碳链的连接和官能团的安装来完成。在这样的有机合成路线设计中，首先要比较原料分子和目标化合物分子在结构上的异同，包括官能团和碳骨架两个方面的异同；然后，设计由原料分子转向目标化合物分子的合成路线。

交流·研讨

某种医用胶的单体为 $CH_2{=}\underset{\displaystyle N\equiv C}{\overset{|}{C}}{-}\overset{\displaystyle O}{\overset{\|}{C}}{-}OCH_2(CH_2)_2CH_3$。某同学以乙烯为起始物，设计了这种化合物的合成路线：

山东出版 SHANDONG PUBLISHING



请与同学们交流、研讨：在上述合成过程中，碳骨架是如何构建的？官能团是如何转化的？

设计有机合成的路线，还可以从目标化合物分子开始采用逆推的方法来完成。1964年柯里(E.J.Corey)首先采用逆推的方式设计合成路线。所谓逆推法就是采取从产物逆推出原料，设计合理的合成路线的方法。在逆推过程中，需要逆向寻找能顺利合成目标化合物的中间有机化合物，直至选出合适的起始原料。只要每步逆推是合理的，就可以得出科学的合成路线。当得到几条不同的合成路线时，就需要通过优选来确定最佳合成路线。在优选合成路线时，必须考虑合成路线是否符合化学原理，以及合成操作是否安全可靠等问题。为了实现社会的可持续发展，绿色合成思想已成为人们进行优选的重要指导思想。绿色合成的主要出发点是：有机合成中的原子经济性；原料的绿色化；试剂与催化剂的无公害性。

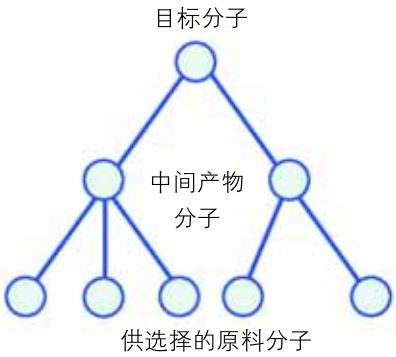


图 3-1-4 用逆推方式确定原料分子示意图

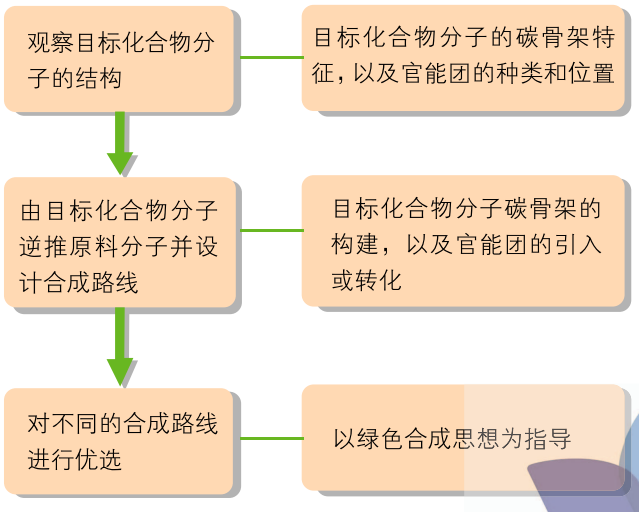


图 3-1-5 逆推法设计有机合成路线的一般程序示意图

资料在线

原子经济

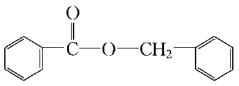
1991年美国著名有机化学家特劳斯特(B.M.Trost)提出原子经济性概念，认为高效的有机合成应最大限度地利用原料分子的每一个原子，使反应达到零排放。原子经济性可以用原子利用率来衡量：

$$\text{原子利用率}(\%) = \frac{\text{预期产物的相对原子质量总和}}{\text{反应物的相对原子质量总和}} \times 100\%$$

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

案例：利用逆推法设计苯甲酸苯甲酯的合成路线

联想·质疑

苯甲酸苯甲酯（又称苯甲酸苄酯，结构简式为）存在于多种植物香精中，它可用做香料、食品添加剂及一些香料的溶剂，还可用做塑料、涂料的增塑剂。此外，苯甲酸苯甲酯具有杀灭虱、蚤和疥虫的作用且不刺激皮肤，无异臭和油腻感，可用于治疗疖疮。

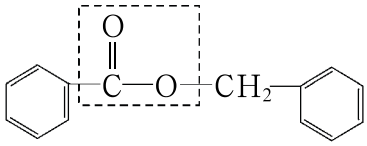
对于这样一种有机化合物，你准备通过怎样的合成路线来制备它呢？



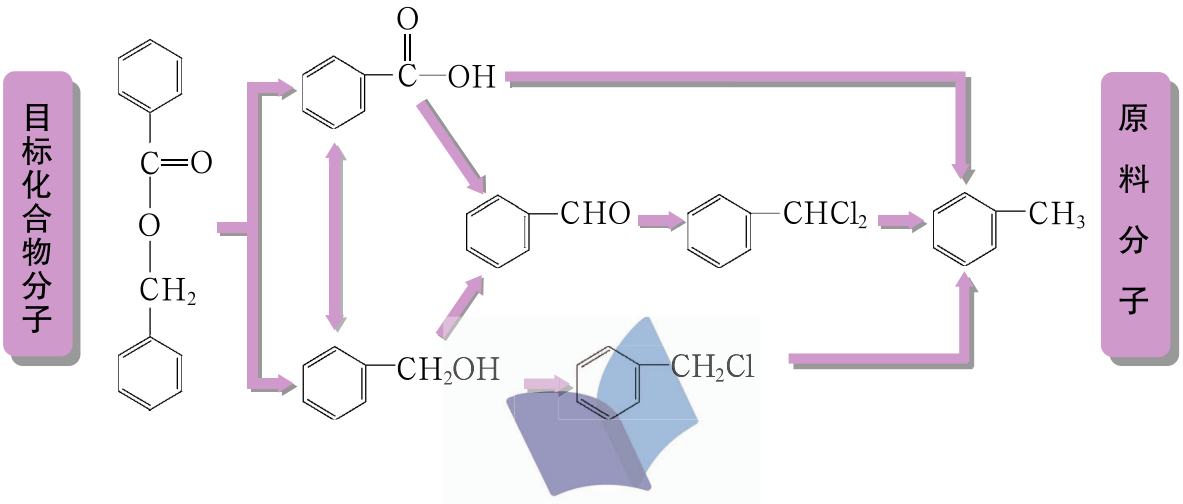
图3-1-6 水仙中含有苯甲酸苯甲酯

逆推设计合成路线

分析苯甲酸苯甲酯分子的结构可知苯甲酸苯甲酯为一种酯类化合物。



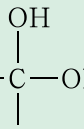
对于酯类化合物的合成，尽管可用很多方法，但首先想到的往往是酸和醇的酯化反应。以此为出发点，依据烃及烃的衍生物间的转化关系，按以下思路可由目标化合物分子逆推出原料分子。

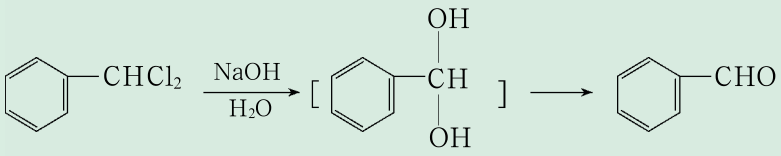


山东出版
SHANDONG PUBLISHING

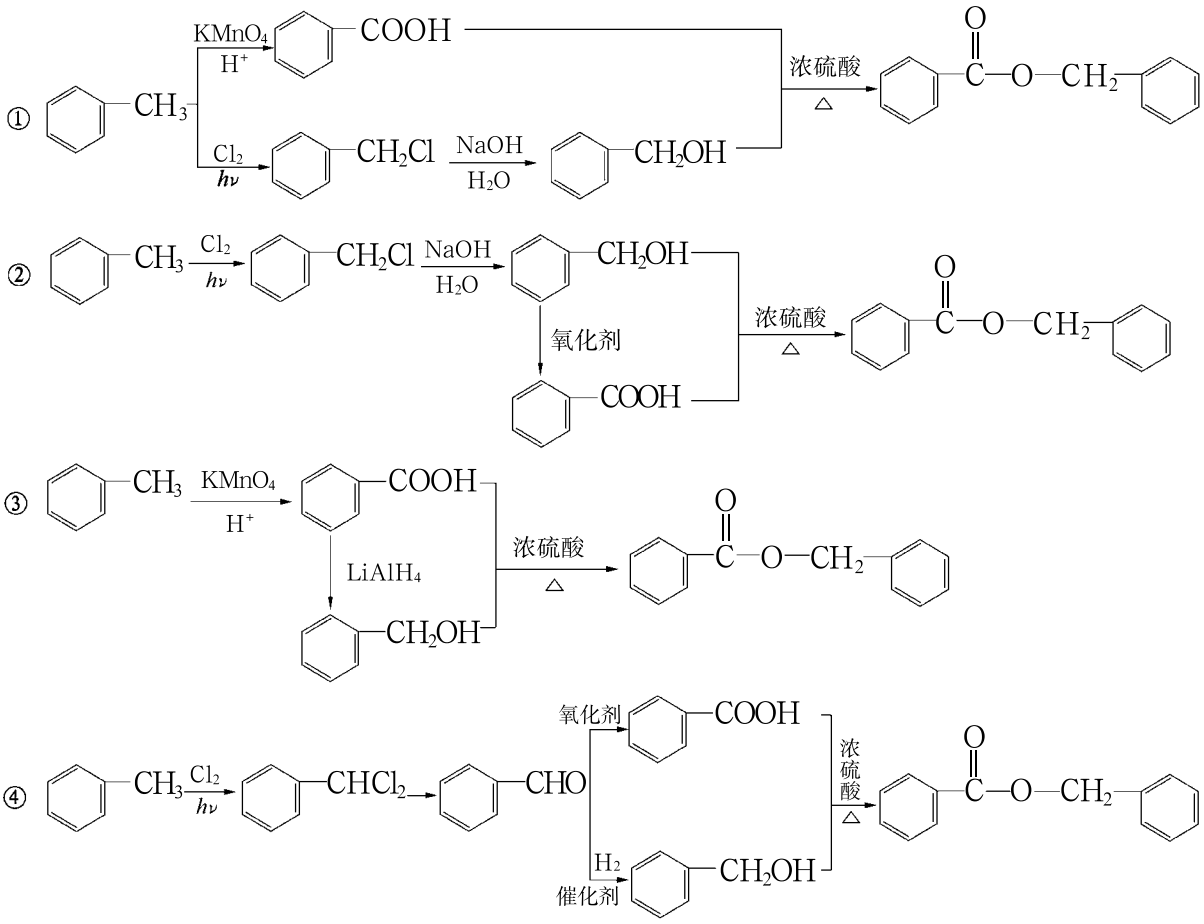
知识支持

一种不稳定的结构

分子中一个碳原子上同时连有两个羟基时是很不稳定的，其中易转变为羰基，形成醛、酮类化合物。例如：



以甲苯为原料合成苯甲酸苯甲酯，运用已学知识可以确定以下几条路线。



评价优选合成路线

对上述合成路线进行评价，优选出其中比较合理的路线。

路线②和路线④制备苯甲酸的步骤多、成本较高，而且使用较多的氯气，不利于环境保护。

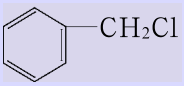
路线③的步骤较少，但所用还原剂 $LiAlH_4$ 价格昂贵，要求无水操作，成本高。

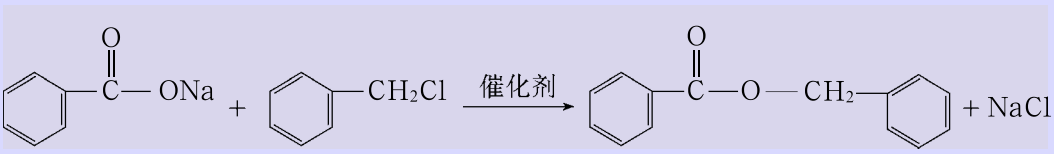
路线①由甲苯分别制备苯甲酸和苯甲醇，然后由它们发生酯化反应制备苯甲酸苯甲酯，是比较合理的实验室合成路线。

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

化学与技术

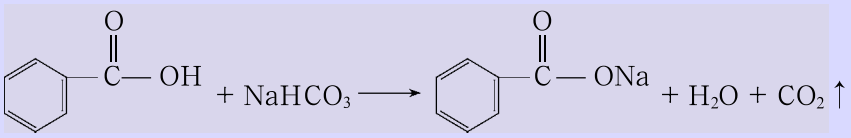
苯甲酸苯甲酯的工业合成

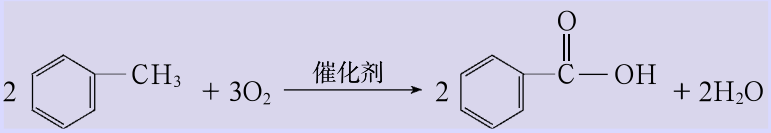
上述实验室合成路线①中，甲苯氧化制取苯甲酸需要使用大量的高锰酸钾，酯化反应需要使用大量的浓硫酸，成本高且易造成污染，故工业上一般不采用此路线。工业上，苯甲酸苯甲酯多采用苯甲酸钠与氯甲基苯（苄基氯，）在催化剂作用下直接反应制备。



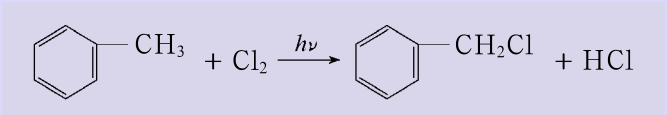
［注：可以选择三乙胺$(C_2H_5)_3N$等做催化剂。］

苯甲酸钠可用苯甲酸与碳酸氢钠制备，而苯甲酸的制备在工业上采用空气氧化法。





氯甲基苯可用甲苯与氯气制备。



逆推法合成设计是一种重要的思想方法。自这种设计方法诞生以来，有机化学家们借助此法完成了一系列重要合成，如长叶松烯和海葵毒素的合成等，大大推动了有机合成的发展。

三、有机合成的应用

有机合成是化学学科中最活跃、最具创造性的领域之一。迄今为止，人类已知的物质中，95%以上为有机化合物，而这些有机化合物大多数是由人工合成的。通过有机合成制得的药物、材料、催化剂广泛地应用于农业(如高效低毒杀虫剂、杀菌剂、除草剂、植物生长激素)、轻工业(如医药、染料、香料、涂料、合成塑料、黏合剂、表面活性剂)、重工业(如工程塑料、合成橡胶、发动机燃料及添加剂)、国防工业(如炸药、高能燃料、特殊合成材料)等众多领域。例如，在国防领域人们提出，若在立方烷分子上连接尽量多的硝基则可以得到比TNT（三硝基甲苯）爆炸威力大得多的物质。在此思想的指导下，经过反复

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

实验，终于制得了被称为“超级炸药”的八硝基立方烷［分子式为 $C_8(NO_2)_8$］。

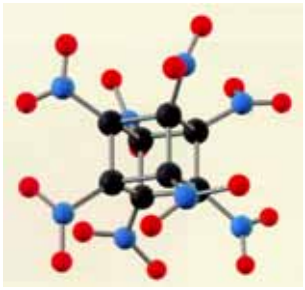


图 3-1-7 八硝基立方烷的结构模型

在化学基础研究方面，有机合成也是一个重要的工具。例如，对有机化合物分子结构的研究结果，往往要通过有机合成来做最后的验证；研制新的、具有特定性能的物质，往往要靠大量的合成工作来筛选；系统地认识有机化合物的物理、化学性质，往往需要利用有机合成的手段；许多有机化学的基本理论以及新反应、新方法，是在大量有机合成实验的基础上发展起来的，并且要通过有机合成来证实和检验；对生命奥秘的探索与具有生理活性的生物高分子的合成密切相关。

资料在线

20 世纪以来在有机合成方面获诺贝尔化学奖的重要事件

1902 年费歇尔(E.Fisher，德国)因糖类和嘌呤化合物的合成而获奖。

1912 年格林尼亚(V.Grignard，法国)因发明格林尼亚试剂，开创了有机金属在各种官能团反应中的新领域而获奖。

1937 年哈沃斯(S.W.Haworth，英国)因发现了糖类环状结构和合成维生素 C 而获奖。

1950 年狄尔斯(O.Diels，德国)和阿尔德(K.Alder，德国)因发现了双烯合成反应而获奖。

1963 年齐格勒(K.Ziegler，德国)和纳塔(G.Natta，意大利)因发现了有机金属催化烯烃定向聚合，实现了乙烯的常压聚合和丙烯的定向有规聚合而获奖。

1965 年有机合成大师伍德沃德(R.B.Woodward，美国)因先后合成了奎宁、胆固醇、可的松、叶绿素和利血平等一系列复杂有机分子和有机配体配合物而获奖。他获奖后仍孜孜不倦地工作，合成出结构复杂的维生素 B_{12}。

1984 年梅里菲尔德(R.B.Merrifield，美国)因发明固相多肽合成法而获奖。

1990 年柯里(E.J.Corey，美国)在长叶松烯、前列腺素等近 100 个天然产物的全合成工作中总结和提出了“逆合成分析法”。逆合成分析是确定合成路线的关键，它直接影响到整个合成路线的策略。柯里的贡献促进了有机合成化学的快速发展，他因此荣获诺贝尔化学奖。

1996 年柯尔（R.F.Carl，美国）、斯莫利（R.E.Smalley，美国）、克鲁托（H.W.Kroto，英国）因发现碳元素的第三种存在形式——C_{60}（又称“富勒烯”“巴基球”）而获诺贝尔化学奖。

2001 年威廉·诺尔斯（W.S.Knowles，美国）、野依良治（R.Noyori，日本）和巴里·夏普雷斯（K.Barry Sharpless，美国），在不对称合成方面取得的成绩，为合成具有新特性的分子和物质开创了一个全新的研究领域。现在，许多的抗生素、消炎药和心脏病药物都是根据他们的研究成果制造出来的。他们因此荣获诺贝尔化学奖。

2005 年伊夫·肖万（Yves Chauvin，法国）、罗伯特·格拉布（Robert H.Grubbs，美国）和理查德·施罗克（Richard R.Schrock，美国）在有机化学的烯烃复分解反应研究方面做出了贡献。烯烃复分解反应广泛用于生产药品和先进塑料等材料，使得生产效率更高，产品更稳定，而且产生的有害废物较少。他们因此荣获诺贝尔化学奖。

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

2010年理查德·海克（Richard F.Heck，美国）、根岸英一（Ei-ichi Negishi，日本）和铃木章（Akira Suzuk，日本）因创造的“钯催化的交叉偶联方法”能够使稳定的碳原子更容易联结在一起，合成复杂的碳基分子，同时有效避免了过多不必要的副产品的产生而荣获诺贝尔化学奖。

精要概括

在有机合成中，设计合成路线的一般程序对完成合成路线的设计具有指导作用。而设计中的核心问题主要涉及两个方面：一方面是构建目标化合物分子的碳骨架，包括碳链的增长与减短、成环与开环等；另一方面是引入所需要的官能团。

设计有机合成路线通常采用逆推法，即从产物逆向推出原料来设计合理的合成路线的方法。在优选有机合成路线时，要增强“绿色”合成的意识。

练　习

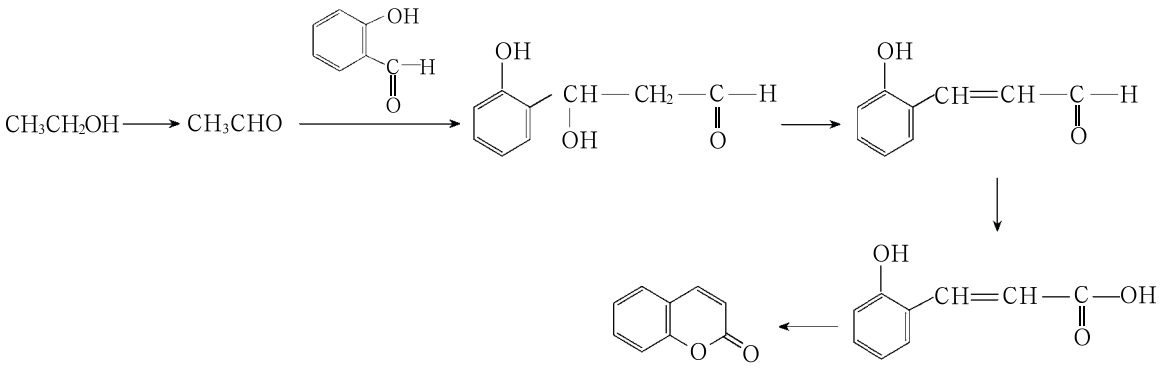
1．近100年来，有机合成的发展极大地改变了物质世界的面貌，改善了人类的生活条件。请你查阅资料，举例说明。

2．利用所学的有关知识设计以下有机合成路线，并说明在合成中你是通过怎样的反应完成官能团转化或碳链增长的。（除指定的起始物外，其他试剂可自行选用。）

（1）从1-溴丙烷制取2-丙醇；

（2）由溴乙烷合成1-丁炔。

3．香豆素是一种用途广泛的香料，可用于配制香精以及制造日用化妆品和香皂等。某同学设计的香豆素的合成路线为：



香豆素

请你指出：在上述合成过程中，碳骨架是通过什么反应构建的？官能团是通过什么反应转化的？

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

4．环氧乙烷的工业生产中，经典的氯代乙醇法为：

$$CH_2{=}CH_2 + Cl_2 + H_2O \longrightarrow ClCH_2CH_2OH + HCl$$

$$2ClCH_2CH_2OH + Ca(OH)_2 \longrightarrow 2\underset{\diagdown\,O\,\diagup}{CH_2{-}CH_2} + CaCl_2 + 2H_2O$$

近代工业方法为：

$$CH_2{=}CH_2 + \frac{1}{2}O_2 \xrightarrow{\text{催化剂}} \underset{\diagdown\,O\,\diagup}{CH_2{-}CH_2}$$

请与同学们交流，环氧乙烷的哪条合成路径更符合绿色合成思想？为什么？

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

第 2 节　有机化合物结构的测定

联想 · 质疑

当人们从自然界里得到某一新化合物并将其提纯以后，测定其结构就是最重要的工作了。只有确定了这种化合物分子的结构，才能进一步了解和应用这种化合物。

在有机合成中，对天然产物合成的首要工作就是测定目标化合物分子的结构；而对人工设计的有机化合物，在合成后也必须测定其结构才能确定它是否就是目标产物。

那么，怎样对有机化合物进行结构测定呢？结构测定在有机化学中有什么重要作用？

结构测定在研究和合成有机化合物中占有极其重要的地位。测定有机化合物结构的方法很多，归根结底都是依据它们自身所具有的物理性质或化学性质来进行测定。测定有机化合物结构的核心步骤是确定其分子式，以及检测分子中所含的官能团及其在碳骨架上的位置。

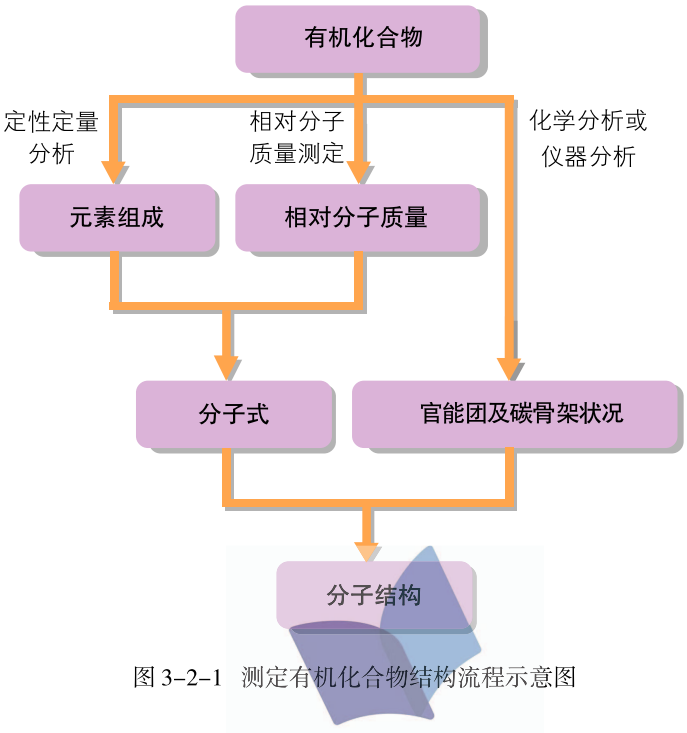


图 3–2–1　测定有机化合物结构流程示意图

山东出版
SHANDONG PUBLISHING



资料在线

有机化合物结构测定方法的发展

有机化合物结构测定方法的发展对有机化学的发展起了非常重要的作用。例如，19世纪上半叶创建的有机元素定量分析方法，使有机化学正式成为一门新的学科；20世纪初创立的有机微量分析方法，使对一些含量极微的天然有机化合物的研究成为可能；20世纪50年代创建的纸上色谱和气相色谱等方法，为分析氨基酸和蛋白质结构提供了有力的工具，使得蛋白质化学取得了突破性的进展。近40年来，X射线衍射技术已经成为测定有机化合物分子三维空间结构的有效方法，不仅大大促进了有机合成的发展，也为结构化学的发展提供了技术保证。

一、有机化合物分子式的确定

要确定有机化合物的分子式，首先需要知道该物质由哪些元素组成、各元素的质量分数是多少。组成有机化合物的元素种类并不多，最常见的是C、H、O、N、X等元素，各元素的质量分数通常需要借助有机化合物的化学性质进行定量测定。得知C、H、N、X等元素的质量分数后，其总和若小于100%，其差值一般就是氧元素的质量分数。

测定碳、氢元素的质量分数最常用的是燃烧分析法。将样品置于氧气流中燃烧，燃烧后生成的水和二氧化碳分别用吸水剂和碱液吸收，称重后即可分别计算出样品中碳、氢元素的质量分数。

确定了有机化合物的元素组成，还要测定其相对分子质量。测定有机化合物相对分子质量的方法很多，如使用质谱仪进行测定。



拓展视野

有机化合物元素组成的测定

氮元素质量分数的测定 将样品通入二氧化碳气流中，在氧化铜的作用下生成氮气。反应时，可能有一部分氮转变成氮的氧化物，需借金属铜将它们还原成为氮气。然后测定氮气的总体积，计算出氮在有机化合物中的质量分数。

$$\text{含氮有机化合物} + CuO \xrightarrow{\triangle} N_2 + \text{氮的氧化物} + CO_2 + H_2O + Cu$$

$$\text{氮的氧化物} + Cu \xrightarrow{\triangle} N_2 + CuO$$

卤素质量分数的测定 将含有卤素的有机化合物样品与NaOH溶液混合反应后，加入稀硝酸酸化，再加入$AgNO_3$溶液，此时卤素原子转变为卤素离子，卤素离子与$AgNO_3$溶液作用产生卤化银沉淀，由生成的卤化银的质量可计算出样品中卤素的质量分数。

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

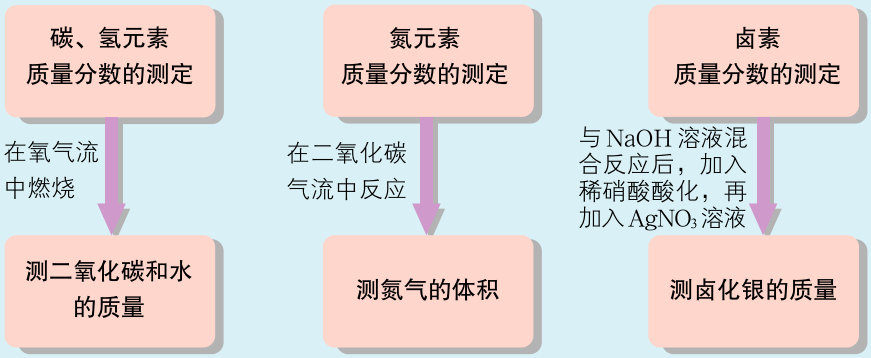


图 3-2-2 有机化合物元素组成测定示意图

质谱法测定有机化合物的相对分子质量

待测化合物分子吸收能量生成分子离子，分子离子具有较高能量，会按化合物自身特有的规律分裂，生成一系列确定组成的碎片离子，将所有不同质量的离子和各离子的多少按质荷比记录下来，就得到一张质谱图。质谱图记录了有机化合物分子裂解碎片形成的带正电荷的各种离子的质量大小。一般最大的离子质量就是有机化合物的相对分子质量。使用高分辨率质谱仪，用几微克的样品就可以准确地测出有机化合物的相对分子质量。

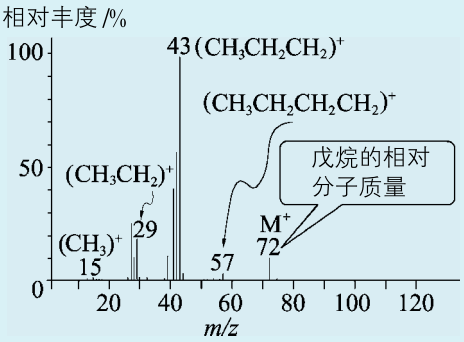


图 3-2-3 戊烷的质谱图

二、有机化合物结构式的确定

测定有机化合物的结构，关键步骤是判定分子的不饱和度及典型的化学性质，进而确定分子中所含有的官能团及其所处的位置。

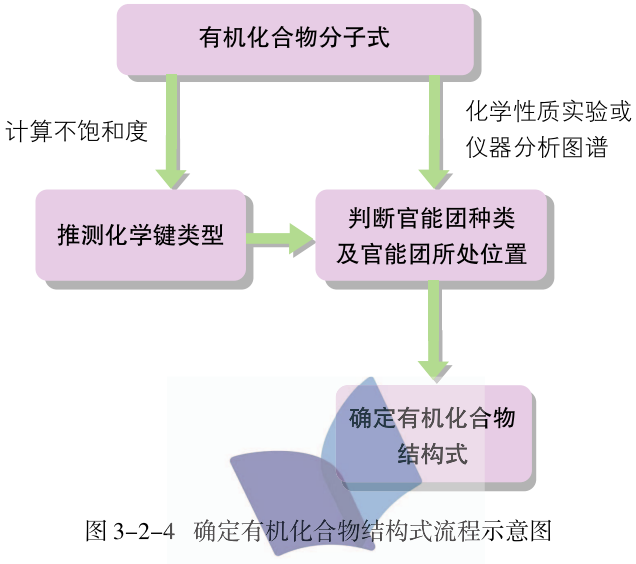


图 3-2-4 确定有机化合物结构式流程示意图

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

有机化合物分子不饱和度的计算

不饱和度可以通过有机化合物的分子式计算得出。这个数值能为测定分子结构提供分子中是否有不饱和键或环等结构的信息。表3-2-1列举了几种官能团的不饱和度。

表3-2-1　　几种官能团的不饱和度

化学键	不饱和度	化学键	不饱和度
一个碳碳双键	1	一个碳碳叁键	2
一个羰基	1	一个苯环	4
一个脂环	1	一个氰基	2

方法导引

有机化合物分子不饱和度的计算公式为：

$$\text{分子的不饱和度} = n(\mathrm{C}) + 1 - \frac{n(\mathrm{H})}{2}$$

其中：$n(\mathrm{C})$为碳原子数，$n(\mathrm{H})$为氢原子数。在计算不饱和度时，若有机化合物分子中含有卤素原子，可将其视为氢原子；若含有氧原子，则不予考虑；若含有氮原子，就在氢原子总数中减去氮原子数。例如，分子式为 $C_6H_5NO_2$ 的分子的不饱和度为：

$$6 + 1 - \frac{(5-1)}{2} = 5$$

确定有机化合物的官能团

有机化合物的官能团都有着相对独立和明确的化学性质，所以可以通过化学反应对其进行鉴别和确定，从而推断有机化合物的可能官能团。表3-2-2列出的是一些官能团的实验推断方法。

表3-2-2　　一些官能团的实验推断方法

试剂	判断依据	可能的官能团
溴的四氯化碳溶液	红棕色溶液退色	碳碳双键或碳碳叁键
酸性 $KMnO_4$ 溶液	紫色溶液退色	
NaOH 溶液（加热）、稀硝酸、$AgNO_3$ 溶液	有沉淀产生	卤素原子
钠	有氢气放出	醇羟基
$FeCl_3$ 溶液	显色	酚羟基
溴水	有白色沉淀产生	

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

续表

试剂	判断依据	可能的官能团
银氨溶液（水浴）	有银镜生成	醛基
新制氢氧化铜悬浊液（加热）	有砖红色沉淀产生	
$NaHCO_3$溶液	有二氧化碳气体放出	羧基

实际上，用化学方法来确定有机化合物结构的工作有时是相当复杂的，吗啡结构的测定就是典型的实例之一。1805年人们就从鸦片中提取出纯净的吗啡，但是吗啡的分子结构直到1952年才确定下来，前后大约用了150年的时间！

由于科学技术的发展，近代有机化合物结构的测定工作已大为改观。现代物理测试方法和仪器的出现，使人们能通过紫外光谱（UV）、红外光谱（IR）及核磁共振谱（NMR）等快速准确地确定有机化合物分子的结构。

拓展视野

光谱分析的作用

分子能吸收特定频率的电磁波，引起分子结构中电子能级的跃迁或分子中原子间价键振动频率等的变化等，产生不同的光谱，这些光谱反映了分子结构的某些特征。利用这一原理，可以对有机化合物分子结构进行测定。其中：

紫外光谱（UV） 紫外光谱可用于确定分子中有无共轭双键。

红外光谱（IR） 每种官能团在红外光谱中都有一个特定的吸收区域，因此从一未知物的红外光谱就可以准确判断有机化合物含有哪些官能团。红外光谱不仅可以用于定性鉴定，还可以定量算出样品的浓度。

核磁共振谱（NMR） 核磁共振是鉴定有机化合物结构的一种重要方法。利用核磁共振谱仪得到的某种有机化合物的核磁共振谱，可以鉴定该有机化合物分子中含有的基团及基团的连接关系等。氢谱和碳谱是应用最广泛的核磁共振谱。利用氢谱能够确定有机化合物分子中氢原子的个数及在碳骨架上的位置，进而推断出有机化合物的碳骨架结构。

这些谱图的综合应用，可以基本上确定样品分子的结构。

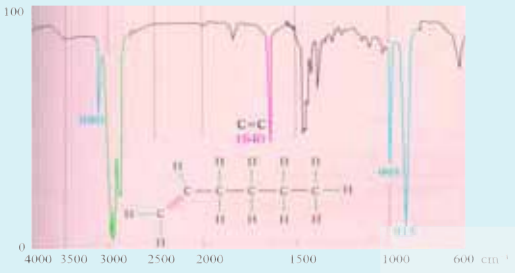


图3-2-5 己烯的红外光谱图

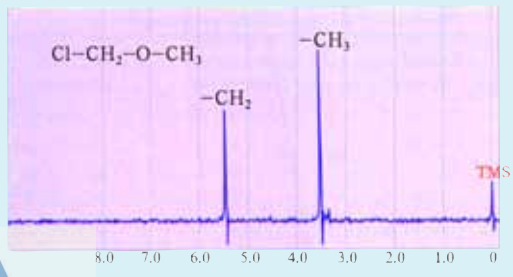


图3-2-6 甲基氯甲基醚的核磁共振氢谱图

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

案例：医用胶单体的结构确定

目前，外科手术常用一种化学合成材料——医用胶代替传统的手术缝合线，这种医用胶具有黏合伤口速度快、免敷料包扎、抑菌性能强、伤口愈合后无明显疤痕等优点。



图 3-2-7 医用胶

确定分子式

1．测定实验式。

燃烧30.6 g医用胶的单体样品，实验测得生成70.4 g 二氧化碳、19.8 g水、2.24 L氮气（已换算为标准状况），请通过计算确定其实验式。

2．确定分子式。

由质谱分析法测定出该样品的相对分子质量为153.0，请确定其分子式。

方法导引

某仅含碳、氢、氧三种元素的有机化合物，若 $n(C):n(H):n(O)=1:2:1$，则其实验式为 CH_2O，式量为30。

进一步测出有机化合物的相对分子质量后，就可以据其相对分子质量对式量的倍数来确定分子式。若上例中样品的相对分子质量为60，是 CH_2O 式量（30）的2倍，则该有机化合物的分子式就是 $C_2H_4O_2$。

推导结构式

1．计算该样品分子的不饱和度，推测分子中是否有苯环、碳碳双键、碳碳叁键或碳氧双键。

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

2．用化学方法推测样品分子中的官能团。

利用医用胶的单体分别做如下实验：① 加入溴的四氯化碳溶液，红棕色溶液退色。② 加入 $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$ 溶液、硫酸及 KOH 的甲醇溶液，无明显变化。③ 加入稀碱水溶液并加热，有氨气放出。由以上现象可以得知该有机化合物可能含有哪些官能团？

资料在线

硝基和氰基的检验

$(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$ 溶液、硫酸及 KOH 的甲醇溶液可检验硝基($-NO_2$)的存在，判断依据为1分钟内溶液由淡绿色变为红棕色。

加入强碱水溶液并加热可检验氰基($-CN$)的存在，判断依据为有氨气放出。

通过红外光谱图分析，可知该样品分子含有 $-C\equiv N$、$>C=C<$、$>C=O$（酯羰基）等官能团。

3．推测样品分子的碳骨架结构和官能团在碳链上的位置。

样品分子核磁氢谱图和核磁碳谱图提示：该有机化合物分子中含有 $CH_2=\overset{|}{C}-$、$-O-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$ 和 $-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OR$ 基团。请据此推测样品分子的官能团在碳链上的位置。

4．综上所述，该有机化合物的结构简式为_____。

有机化合物的结构测定不仅应用于有机合成中，也广泛应用于分子生物学、天然产物化学、医药学以及石油化工、环境科学、材料科学和国防科学等领域。为了满足这些领域的需求，化学工作者们正在不断改进结构测定所需要的手段和方法。

精要概括

有机化合物结构的测定在有机化学中占有极其重要的地位，其核心问题是确定有机化合物的分子式及结构式。

为了确定有机化合物的分子式，需要测定有机化合物的元素组成和相对分子质量。可以借助可燃性等化学性质测定其元素组成，利用质谱仪等确定其相对分子质量。

为了确定有机化合物的结构式，可采用化学方法与光谱方法如红外光谱、核磁共振谱等。

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

练　习

1．选用合适的方法鉴别下列各组物质：

（1）乙醇与乙醛；

（2）乙醇与乙酸；

（3）乙醛与乙酸；

（4）乙烷与乙炔；

（5）苯与甲苯；

（6）乙酸与乙酸乙酯；

（7）苯甲醇水溶液与苯酚水溶液；

（8）葡萄糖溶液与蔗糖溶液。

2．某有机化合物能与金属钠反应放出氢气；充分燃烧8.88 g该有机化合物，将燃烧后的气体通入浓硫酸，浓硫酸质量增加10.8 g；将剩余气体通入NaOH溶液，溶液质量增加21.12 g。由质谱仪测得此种有机化合物的相对分子质量为74。试推断该有机化合物的分子式，并写出其可能的结构简式。

3．为测定一种烃A的分子式，取一定量的A置于密闭容器中燃烧，定性实验表明燃烧产物是二氧化碳、一氧化碳和水蒸气。学生甲、乙分别设计了如下两个方案，均认为根据自己的方案能求出A的实验式。他们测得的有关数据如下（图中的箭头表示气体的流向，实验前系统内的空气已排除）：

甲方案

燃烧产物 $\xrightarrow{\text{浓硫酸}}$ 增重 2.52 g $\xrightarrow{\text{碱石灰}}$ 增重 1.32 g $\xrightarrow{\text{点燃}}$ 生成二氧化碳 1.76 g

乙方案

燃烧产物 $\xrightarrow{\text{碱石灰}}$ 增重 5.6 g $\xrightarrow{\text{灼热氧化铜}}$ 氧化铜减轻 0.64 g $\xrightarrow{\text{石灰水}}$ 生成碳酸钙 4.0 g

试回答：

（1）根据甲、乙两种方案，你认为能否求出A的实验式？

（2）请根据你选出的方案，通过计算确定A的实验式。

（3）若要确定A的分子式，是否还需要测定其他数据？如果需要，应该测定哪些数据？

4．现有6.51 mg某有机化合物样品，对其进行如下操作：

（1）充分燃烧得20.47 mg二氧化碳，8.36 mg水；

（2）质谱分析得该物质相对分子质量是84，该有机化合物的分子式为_____；

（3）向该有机化合物中加入少量溴的四氯化碳溶液，溶液退色，用酸性$KMnO_4$溶液氧化该物质，只能得到丙酸，该有机化合物的结构简式为_____。

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

第 3 节　合成高分子化合物

联想 · 质疑

合成高分子化合物已经广泛应用于人们的日常生活。例如，合成橡胶制成的汽车轮胎极大地改善了车胎的性能；合成高分子材料制成的涂料和隔音、隔热材料使得居室更加美观实用；涤纶、尼龙、腈纶等合成纤维制成的服装改善了人们“穿”的质量。

高分子化合物具有什么性质？高分子化合物是怎样合成出来的？



图 3-3-1　由高分子材料制成的帆船

20世纪初，第一种人工合成的高分子材料——酚醛塑料的生产实现了工业化，满足了电器工业发展对绝缘材料的需求。此后，高分子材料工业蓬勃发展起来，以煤、石油和农副产品为原料制得的各种合成高分子材料如塑料、合成橡胶、合成纤维及新型功能高分子材料等不断产生。它们具有许多优于天然材料的性能，在国民经济的各个领域中发挥着越来越重要的作用。

要认识高分子材料的优异性能，必须首先了解高分子化合物。

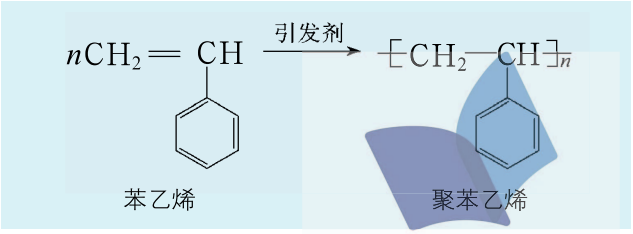
一、高分子化合物

1. 高分子化合物概述

高分子化合物（macromolecule或polymer）是指由许多小分子化合物以共价键结合成的、相对分子质量很高（通常为$10^4 \sim 10^6$）的一类化合物。高分子化合物常称为聚合物或高聚物。能用来合成高分子化合物的小分子化合物称为**单体**（monomer）。高分子化合物可由单体通过聚合反应制得。例如，制备聚苯乙烯的反应为：

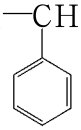
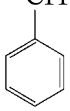


图 3-3-2　聚苯乙烯塑料杯



山东出版
SHANDONG PUBLISHING

其中，苯乙烯为单体，聚苯乙烯是由苯乙烯聚合而成的高分子化合物。

从结构上看，聚苯乙烯$\left\{\mathrm{CH_2—CH}\right\}_n$是由相同的结构单元—$\mathrm{CH_2—CH}$—重复连接而成的。这种化学组成和结构均可以重复的最小单位称为重复结构单元。重复结构单元是组成高分子链的基本单位，就好像是长链中的一个环节，所以又称**链节**（chain element）。链节的数目 n 称为重复结构单元数或链节数。

交流 · 研讨

脲醛树脂是由尿素与甲醛反应制得的，它的结构简式为$\left\{\mathrm{NH—CO—NH—CH_2}\right\}_n$，链节为—NH—CO—NH—$\mathrm{CH_2}$—。根据上述例子，请写出下表中高分子化合物的结构简式、单体和链节。

中文名称	结构简式	单体	链节
聚丙烯			
酚醛树脂			

高分子化合物种类繁多，比较常见的是图 3–3–3 所示的四种分类。

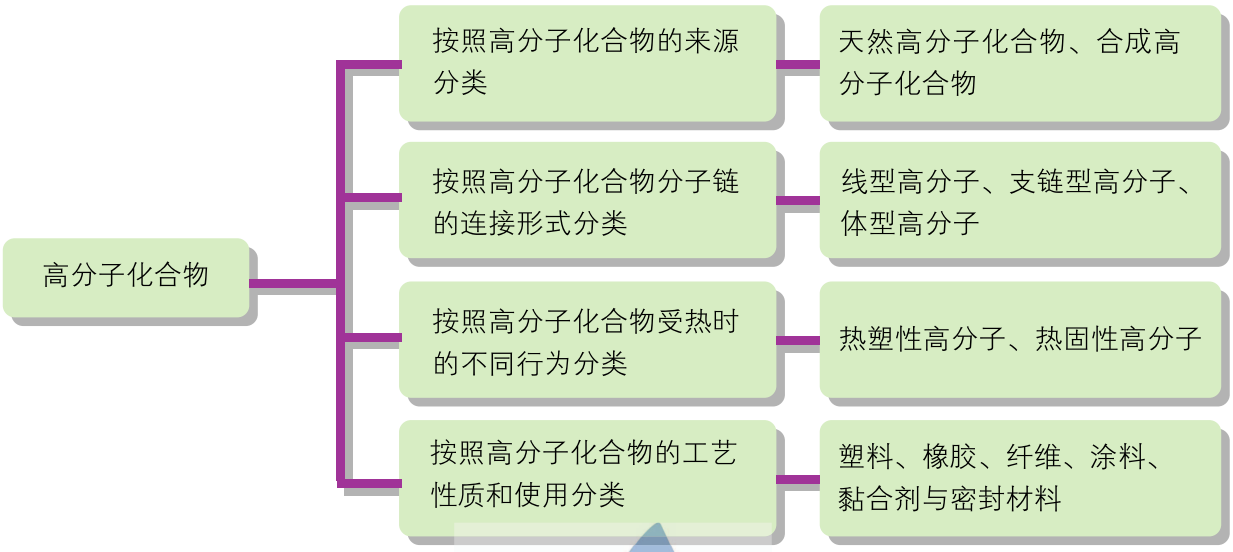


图 3–3–3　高分子化合物分类示意图

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

资料在线

施陶丁格与高分子科学

施陶丁格(H.Staudinger)是德国著名化学家，也是高分子科学的创始人。1920年，他发表了具有划时代意义的《论聚合》，提出“无论天然或合成的聚合物，其形态和特性都可以由具有共价键连接的链式高分子结构来解释”的观点，从而把“大分子”这个概念引进科学领域。该观点一经提出，立即与当时流行的以英国化学家格雷阿姆为代表的“胶体理论”产生了一场激烈的学术争论。“胶体理论”认为纤维素是葡萄糖的缔合体，但后来越来越多的实验数据都证实了“大分子”概念的正确性。1953年，施陶丁格因发现“链状大分子物质”走上了诺贝尔化学奖的领奖台。



图3-3-4 施陶丁格
(H.Staudinger,1881—1965)

2. 高分子化合物的合成——聚合反应

由小分子物质合成高分子化合物的化学反应称为**聚合反应**(polymerization)。聚合反应通常分为加成聚合反应和缩合聚合反应。

加成聚合反应(addition polymerization)是指单体通过加成的方式生成高分子化合物的反应，简称加聚反应。在加聚反应的过程中，没有小分子化合物产生。常见的塑料如聚丙烯、聚苯乙烯和聚甲基丙烯酸甲酯(俗称有机玻璃)，橡胶如天然橡胶、顺丁橡胶，纤维如聚丙烯腈(俗称腈纶)，都是由加聚反应制得的。例如，由异戊二烯合成聚异戊二烯、由甲基丙烯酸甲酯合成有机玻璃的反应分别为：

$$n\mathrm{CH_2{=}\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}{-}CH{=}CH_2} \xrightarrow{\text{引发剂}} \left[\mathrm{CH_2{-}\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}{=}CH{-}CH_2}\right]_n$$

异戊二烯　　聚异戊二烯(天然橡胶)

$$n\mathrm{CH_2{=}\underset{\displaystyle COOCH_3}{\underset{|}{\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{C}}}}} \xrightarrow{\text{引发剂}} \left[\mathrm{CH_2{-}\underset{\displaystyle COOCH_3}{\underset{|}{\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{C}}}}}\right]_n$$

甲基丙烯酸甲酯　　聚甲基丙烯酸甲酯(有机玻璃)

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

缩合聚合反应（condensation polymerization）是指由单体通过分子间的相互缩合而生成高分子化合物的聚合反应，简称缩聚反应，所得的高分子化合物称为**缩聚物**（condensation polymer）。在缩聚反应过程中，伴随有小分子化合物（如水）产生。例如，合成纤维聚酰胺-66（尼龙-66）就是由己二酸与己二胺经多步脱水缩合制得的，所发生的反应为：



图 3-3-5 实验室制出的尼龙

$$n\mathrm{H_2N(CH_2)_6NH_2} + n\mathrm{HOOC(CH_2)_4COOH} \xrightarrow{-\mathrm{H_2O}} \left[\mathrm{NH(CH_2)_6NHC(CH_2)_4C}\right]_n$$

迁移·应用

1．工业上可以用丙酮为原料合成有机玻璃，合成路线如下式所示，请你将其填写完整。

$$\mathrm{CH_3CCH_3} \xrightarrow{\mathrm{HCN}} (\quad) \xrightarrow{\mathrm{H^+/H_2O}} \mathrm{CH_3-C(OH)(COOH)-CH_3} \xrightarrow[\triangle]{\text{浓硫酸}} \mathrm{CH_2=C(COOH)-CH_3} \xrightarrow[\text{浓硫酸}]{(\quad)} (\quad) \xrightarrow{\text{引发剂}} \left[\mathrm{CH_2-C(CH_3)(COOCH_3)}\right]_n$$

2．涤纶是一种聚酯纤维，其主要成分聚对苯二甲酸乙二醇酯的结构简式为 $\left[\mathrm{C(=O)-C_6H_4-C(=O)-OCH_2CH_2O}\right]_n$，请指出这种聚合物是由什么单体缩聚而成的，写出它们的结构简式和名称。

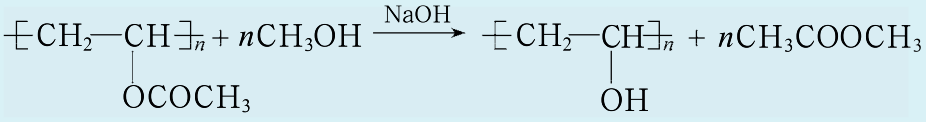
二、高分子化学反应

有高分子化合物参与的化学反应称为高分子化学反应。

通过高分子化学反应，可以合成带有特定功能基团的新的高分子化合物。例如，高分子化学反应用于纤维素的改性可以制得黏胶纤维、硝化纤维和醋酸纤维等。通过高分子化

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

学反应，还可以合成不能直接通过小分子物质聚合而得到的高分子化合物。例如，乙烯醇不能稳定存在，因此聚乙烯醇不能直接由乙烯醇合成，而是先制得聚乙酸乙烯酯，再使其与甲醇反应而间接制得。由聚乙酸乙烯酯制得聚乙烯醇的反应为：



聚乙酸乙烯酯　　聚乙烯醇

在这个反应里，反应物和产物中高分子化合物的链节数是相同的。

高分子化学反应可以用于橡胶的硫化，使线型的橡胶分子经过单硫键（–S–）或双硫键（–S—S–）等交联，形成空间网状结构。在这个过程中，高分子化合物的链节数会变大。这种经过硫化处理的橡胶称为硫化橡胶。经适度硫化的橡胶，弹性和耐磨性都较未经硫化处理的橡胶有明显的提高。

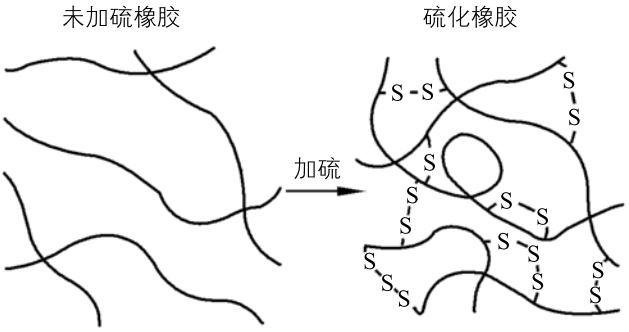


图 3–3–6　橡胶的硫化过程示意图

高分子化合物的降解也属于高分子化学反应。在降解过程中，高分子化合物的链节数变小。例如，有机玻璃在氮气中270℃热降解，可回收到95%的甲基丙烯酸甲酯，实现了对高分子废弃材料的再利用。由于塑料制品能对环境造成严重的“白色污染”，目前人们已经合成出可生物降解塑料、化学降解塑料和光降解塑料等。

化学与技术

高分子材料的防老化

老化是指高分子材料在加工、储存和使用过程中，物理、化学性质及力学性能发生不可逆坏变的现象。热、光、辐射和与腐蚀性物质接触，都会导致高分子材料的老化。塑料的变脆是典型的老化现象。通常人们在材料中加入一些稳定剂来缓解材料的老化。例如，在橡胶制品中加入炭黑，就可以降低光对材料的辐射，从而减缓橡胶的老化。

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

三、合成高分子材料

活动·探究

在塑料制品出厂时，厂家都会在其产品上面印上标识。表3–3–1中列出了常见塑料制品的标识。

表3–3–1　　塑料制品的标识

塑料名称	聚对苯二甲酸乙二酯	高密度聚乙烯	聚氯乙烯	低密度聚乙烯	聚丙烯	聚苯乙烯	其他塑料
英文简称	PET	HDPE	PVC	LDPE	PP	PS	Others
塑料标识代码	1	2	3	4	5	6	7

请你寻找五种塑料制品，查看上面的标识，思考并与同学们讨论下列问题：

1．这些塑料的单体是什么？

2．请举例说明不同成分的塑料的用途有什么不同。

生活中的各种塑料制品都是由合成高分子材料加工制得的。**合成高分子材料**（polymer material）是以合成高分子化合物为基本原料，加入适当助剂，经过一定加工过程制成的材料。这里的助剂，通常指填料、增塑剂、颜料、发泡剂等。

1. 常见的合成高分子材料

通过化学必修课程的学习大家已经知道，塑料、合成纤维、合成橡胶称为三大合成材料。

三大合成材料主要是由树脂组成的。树脂是一种俗称，凡人工合成的、未经加工处理的任何聚合物都是树脂。塑料通常是由树脂及各种助剂组成的。塑料中，树脂的质量占塑料总质量的40%以上，有些塑料如有机玻璃、聚乙烯、聚苯乙烯等基本是由树脂组成的。

塑料的性能不仅取决于树脂本身，有时助剂也会起较大的作用。填料可降低成本，增强塑料的机械性能、耐热性和绝缘性。常用的填料有石棉、木粉、玻璃纤维等。增塑剂能增强塑料的柔软性，使塑料易于加工成型。常用的增塑剂有邻苯二甲酸二丁酯及邻苯二甲酸二辛酯等。稳定剂的作用是防止塑料在加工和使用过程中因热、光等外界因素影响而发生性能变坏。常用的稳定剂有硬脂酸铅等。脱膜剂的作用是防止塑料制品在成型过程中粘在金属设备或模具上，常用的脱膜剂是硬脂酸及其盐类。在塑料中加入发泡剂偶氮二异丁腈及碳酸铵等，可以制得具有无数微孔的泡沫塑料。

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

资料在线

高分子材料的铅污染

聚氯乙烯（PVC）塑料水管、门窗材料和吊顶材料美观轻便，近年来被越来越多地用于现代建筑和家庭装修，然而，这种美观轻巧的材料可能正在威胁着消费者的健康。铅盐是PVC材料常用的稳定剂，在使用这种材料做成的水管时，重金属铅会从管道中析出，直接造成饮用水的污染。使用该材料做成的门窗和装饰物时，铅可能通过被污染的空气由呼吸道进入人体。因此，应限制使用此类PVC塑料制造饮用水管材、管件和室内装饰、装修材料。

涂料、黏合剂及密封材料等也是生活中常见的合成高分子材料。

涂料是一种涂布于物体表面后能结成坚韧保护膜的物质，它常涂在家具、道路指示牌以及船舶的表面上，起到保护和美化内部物体的作用。涂料的主要成分——成膜物质（也称固着剂）属于树脂。涂料所用的树脂包括有机硅树脂、聚氯乙烯树脂、聚苯乙烯树脂等。涂料中含有30%～80%的有机溶剂如甲苯、丙酮等，用于溶解成膜物质以降低其黏度，便于施工。有机溶剂挥发后会污染环境。目前，涂料正向无毒溶剂或无溶剂化方向发展。



图3–3–7 外墙涂料

长期以来，糨糊被用做纸制品的黏合剂。随着高分子材料的开发，目前使用的黏合剂是以各种树脂如酚醛树脂、脲醛树脂等为主要成分制成的。502瞬间强力胶是日常生活中常用的一种黏合剂，它是在聚α–氰基丙烯酸乙酯（$\left[\mathrm{CH_2-\overset{CN}{\overset{|}{C}}}\right]_n$ $\mathrm{COOC_2H_5}$）中加入适当填料制成的。

2. 功能高分子材料

在合成高分子的主链或支链上接上带有某种特定功能的官能团，使它们具有特殊的功能以满足光学、电学、磁学、化学、生物学、医学等方面的要求，这样形成的高分子称为**功能高分子**（functional polymer）。

目前，常用功能高分子材料的分类可表示如下：

常用功能高分子
- 离子交换树脂
- 光敏高分子
- 导电高分子
- 医用高分子
- 膜用高分子

山东出版 SHANDONG PUBLISHING



拓展视野

导电高分子

1977年，科学家发现聚乙炔与碘等反应后可以变成导体，它具有优良的光学和电化学性能，可以代替金属制品进行电磁波的屏蔽。这种传统意义上的绝缘体竟然表现出导体的许多光、电、磁等特性，意味着一种新的功能高分子——导电高分子诞生了。

导电高分子材料的研究历史不长，但它作为新一代电子材料，已经在电磁屏蔽、塑料芯片、显示设备等方面获得了广泛的应用。

离子交换树脂 离子交换树脂主要用于物质的分离和提纯，如制取去离子水、回收工业废水中的金属等，它是由一种不溶于水的高分子骨架和若干活性基团组成的具有离子交换能力的树脂。最常用的树脂母体是苯乙烯与对苯二乙烯的交联聚合物。按照交换基团性质的不同，离子交换树脂分为阳离子交换树脂和阴离子交换树脂两类。

阳离子交换树脂大都含有磺酸基（$-SO_3H$）、羧基（$-COOH$）等酸性基团。以磺酸型阳离子交换树脂为例，其结构可简单表示为$R-SO_3H$，式中R代表树脂母体。以与Ca^{2+}的交换为例，其原理可表示为：

$$2R—SO_3H + Ca^{2+} \rightleftharpoons (R—SO_3)_2Ca + 2H^+$$

硬水（指含Ca^{2+}、Mg^{2+}较多的水）软化（指除去水中较多的Ca^{2+}、Mg^{2+}）利用的就是这一原理。

阴离子交换树脂中含有季铵基［$R-N^+(CH_3)_3$］、氨基（$-NH_2$）等碱性基团，这些基团能与溶液中的各种阴离子进行交换。

医用高分子 最早使用的医用高分子是聚乳酸 $\left[O—CH(CH_3)—CO\right]_n$，用它来代替手术缝合线。目前，常见的医用高分子包括硅橡胶（$\left[Si(CH_3)_2—O\right]_n$）、聚氨酯、聚丙烯、聚乙烯醇等，它们的生物相容性较好、安全无毒，可用于制造医用器械和人造器官。例如，制造人造心脏的原料是聚氨酯橡胶，一次性注射器外筒和柱塞通常用聚丙烯做原料来制造；医用软管和各种导管常以硅橡胶、聚氨酯、聚四氟乙烯等为主要材料。

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

资料在线

聚氨酯树脂及其应用

聚氨酯树脂（$\left[O-R'-O-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-NH-R-NH-\overset{\overset{O}{\|}}{C}\right]_n$）是由异氰酸酯和分子中含有活泼氢原子的化合物通过聚合反应制得的，它具有耐用和与人体相容性好等优点。除了能在人体内部直接使用外，它还可以用于制造非直接接触的医疗用品。例如，心脏起搏器的主要材料是硅橡胶和聚氨酯弹性体。另外，聚氨酯泡沫体可以作为人造骨骼来填充骨折的缺损部位。

目前，其他种类的功能高分子材料也获得了很大的发展。例如，具有各种分离功能的高分子分离膜在食品加工和污水处理等领域有着独特的应用，高分子催化剂可以极大地改变化学反应速率。

合成高分子材料已成为现代人类社会生产、生活必不可少的物质，不断地改变着社会生产的面貌，提高着人们的生活质量。

精要概括

高分子化合物是指由许多小分子化合物以共价键结合而成的相对分子质量很高（通常为$10^4 \sim 10^6$）的一类有机化合物。从结构上看，高分子化合物是由相同的结构单元重复连接而成的。这种化学组成和结构均可以重复的最小单位称为重复结构单元，也称链节。能用来合成高分子化合物的小分子化合物称为单体。高分子化合物常用加聚反应或缩聚反应来合成。

有高分子化合物参与的化学反应称为高分子化学反应。通过高分子化学反应，可以合成带有特定功能基团的新的聚合物，也可以合成不能直接通过小分子物质聚合而得到的聚合物。

合成高分子材料是以合成高分子化合物为基本原料，加入适当助剂，经过一定加工过程制成的材料，包括常见的合成高分子材料和功能高分子材料。

练　习

1．观察下列聚合反应，请你判断哪些是加聚反应、哪些是缩聚反应。

（1）$n CH_2=CHCOOH \longrightarrow \left[CH_2-\underset{\underset{COOH}{|}}{CH}\right]_n$

（2）$n CH\equiv CH \longrightarrow \left[CH=CH\right]_n$

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

（3）$n\mathrm{CH_3CHCOOH}\xrightarrow{-\mathrm{H_2O}}\left[\mathrm{O-CH(CH_3)-C(=O)}\right]_n$

（4）$n\mathrm{CH_2{=}CH(CN)} + n\mathrm{CH_2{=}CH-CH{=}CH_2} + n\mathrm{CH_2{=}CH(C_6H_5)}\longrightarrow$

$\left[\mathrm{CH_2CH(CN)CH_2CH{=}CHCH_2CH(C_6H_5)CH}\right]_n$

2．氯丁橡胶的化学结构可表示为：

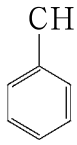
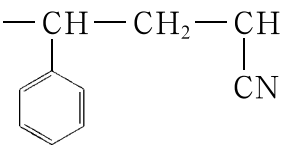
……$\mathrm{CH_2-C(Cl){=}CH-CH_2-CH_2-C(Cl){=}CH-CH_2-CH_2-C(Cl){=}CH-CH_2}$——……

其链节为_____，单体为_____，该高分子化合物是通过_____（填“加聚”或“缩聚”）反应制得的。

3．请将下表填写完整。

高分子化合物	结构简式	单体	聚合反应的化学方程式
			$n\mathrm{CH_2{=}CHCl}\longrightarrow\left[\mathrm{CH_2-CH(Cl)}\right]_n$
聚苯乙烯			
聚乳酸		$\mathrm{CH_3CH(OH)COOH}$	
聚酰胺（尼龙）	$\left[\mathrm{NH(CH_2)_5CO}\right]_n$		
聚酯（涤纶）		$\mathrm{HOOC-C_6H_4-COOH}$ $\mathrm{HO-CH_2-CH_2-OH}$	

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

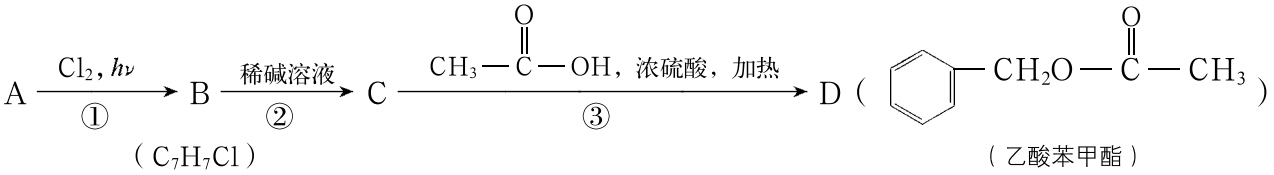
4．苯乙烯（）和丙烯腈（$CH_2{=}CH{-}CN$）在一定条件下可以发生聚合反应生成一种高分子化合物（）。在该高分子化合物中苯乙烯和丙烯腈形成的结构单元相互交替排列。请写出此聚合反应的化学方程式，并说明此聚合反应是加聚反应还是缩聚反应。

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

本章自我评价

1．通过本章的学习，你对有机化合物的合成有了哪些了解？遇到未知有机化合物时，你能想办法确定它的结构吗？你对高分子化合物有了哪些新的认识？请你设计一张图表总结你学习本章的收获。

2．乙酸苯甲酯可提高花或果的芳香气味，故常用于化妆品工业和食品工业。乙酸苯甲酯可以用下面的设计方案合成：



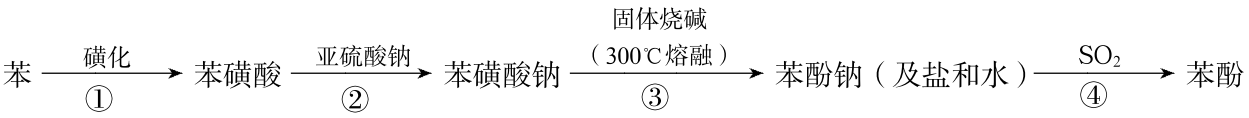
（1）写出A、B、C三种有机化合物的结构简式：

A _____，B _____，C _____。

（2）分别写出①、②、③三个步骤发生反应的化学方程式，并指明所属的有机反应类型。

（3）化合物D分子中的官能团是如何形成的？

3．以苯、硫酸、氢氧化钠、亚硫酸钠为原料合成苯酚，经典的方法可简单表示为：



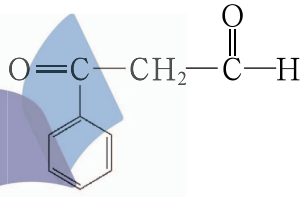
写出第②、③、④步反应的化学方程式：

② _____；

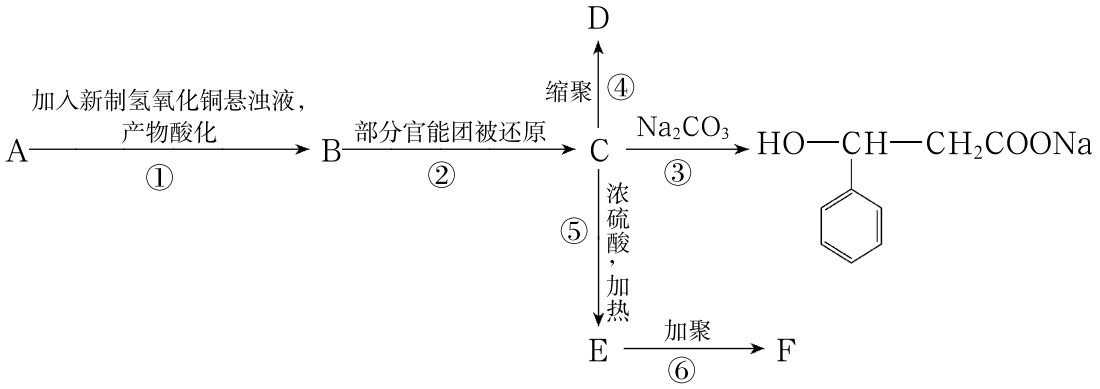
③ _____；

④ _____。

根据上述反应判断苯磺酸、苯酚、亚硫酸三种物质的酸性强弱并说明理由。

4．已知某有机化合物A的结构简式为 ，它可以发生如下转化：

山东出版
SHANDONG PUBLISHING



（1）写出下列物质的结构简式：B_____，C_____，D_____，F_____。

（2）写出相应序号反应的化学方程式：

① _____；　③ _____；

④ _____；　⑥ _____。

（3）在本题涉及的化学反应中，由C生成E的反应类型是_____。

5．某表面活性剂（甲）的结构简式为$\left[CH_2-\underset{\underset{O-CH_2CH_2CH_2COOH}{|}}{CH}\right]_n$。甲不能由化合物乙为原料经加聚反应制得。乙的结构简式为$CH_2=CH-O-CH_2CH_2CH_2COOH$。

工业上可用如下方法合成甲，请你写出反应过程中中间产物A的结构简式。

$$n\,CH_2=\underset{\underset{O-C(COOC_2H_5)_3}{|}}{CH} \xrightarrow{\text{引发剂}} A \xrightarrow{NaOH} \left[CH_2-\underset{\underset{O-C(COONa)_3}{|}}{CH}\right]_n$$

$$\longrightarrow \left[CH_2-\underset{\underset{O-CH_2CH_2CH_2COOH}{|}}{CH}\right]_n$$

表面活性剂（甲）

6．请查阅资料举例说明除了教材中介绍的高分子材料外，生产、生活中还常用到哪些高分子材料，它们分别具有怎样的性能。选取其中的一种，确定该高分子化合物的单体，说明由它是怎样合成高分子化合物的，以及发生的聚合反应是加聚反应还是缩聚反应。

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

附　录

1. 各章节中的主要术语与物质名称

术语或物质名称	英　文	章	节	页
有机化学	organic chemistry	1	1	2
有机化合物	organic compound	1	1	2
烃	hydrocarbon	1	1	7
烷烃	alkane	1	1	7
烯烃	alkene	1	1	7
炔烃	alkyne	1	1	7
芳香烃	aromatic hydrocarbon	1	1	7
环烷烃	cycloalkane	1	1	7
烃的衍生物	derivative of hydrocarbon	1	1	7
官能团	functional group	1	1	7
同系列	homologous series	1	1	9
同系物	homologous compound	1	1	9
极性键	polar bond	1	2	18
非极性键	non-polar bond	1	2	18
饱和烃	saturated hydrocarbon	1	3	27
不饱和烃	unsaturated hydrocarbon	1	3	27
加成反应	addition reaction	2	1	46
取代反应	substitution reaction	2	1	48
消去反应	elimination reaction	2	1	50
氧化反应	oxidation reaction	2	1	50
还原反应	reduction reaction	2	1	50
卤代烃	halohydrocarbon	2	1	51
醇	alcohol	2	2	55
羟基	hydroxyl	2	2	55
酚	phenol	2	2	55
甲醇	methanol	2	2	56
乙二醇	glycol	2	2	56
丙三醇	glycerin	2	2	56
氢键	hydrogen bond	2	2	56
醛	aldehyde	2	3	68
酮	ketone	2	3	68
甲醛	formaldehyde	2	3	70

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

续表

术语或物质名称	英　文	章	节	页
乙醛	acetaldehyde	2	3	70
苯甲醛	benzaldehyde	2	3	70
丙酮	propanone	2	3	70
糖类	glucide	2	3	75
单糖	monosaccharide	2	3	75
葡萄糖	glucose	2	3	75
果糖	fructose	2	3	75
双糖	disaccharide	2	3	77
麦芽糖	maltose	2	3	77
蔗糖	sucrose	2	3	77
多糖	polysaccharide	2	3	77
淀粉	starch	2	3	77
纤维素	cellulose	2	3	78
羧酸	carboxylic acid	2	4	81
甲酸	methanoic acid	2	4	82
苯甲酸	benzoic acid	2	4	82
乙二酸	ethanedioic acid	2	4	82
羧酸衍生物	carboxylic acid derivative	2	4	84
酯	ester	2	4	84
氨基酸	amino acid	2	4	87
肽键	peptide bond	2	4	87
多肽	polypeptide	2	4	88
蛋白质	protein	2	4	88
酶	enzyme	2	4	89
高分子化合物	macromolecule 或 polymer	3	3	116
单体	monomer	3	3	116
链节	chain element	3	3	117
聚合反应	polymerization	3	3	118
加成聚合反应	addition polymerization	3	3	118
缩合聚合反应	condensation polymerization	3	3	119
缩聚物	condensation polymer	3	3	119
合成高分子材料	polymer material	3	3	121
功能高分子	functional polymer	3	3	122

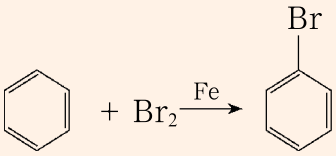
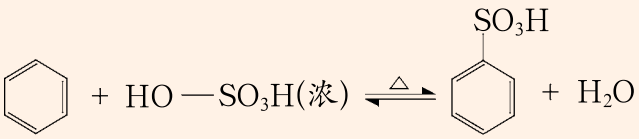
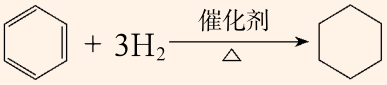
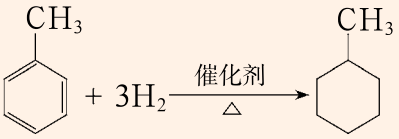
山东出版
SHANDONG PUBLISHING

2. 本册教材涉及的各类物质的主要化学反应

物质类别	反　应	反应类型	章	节	页
烷　烃	$CH_3CH_3 + Cl_2 \xrightarrow{h\nu} CH_3CH_2Cl + HCl$	取代反应	1	3	30
	$C_nH_{2n+2} + \frac{3n+1}{2}O_2 \xrightarrow{点燃} nCO_2 + (n+1)H_2O$	氧化反应	1	3	32
烯　烃	$CH_2=CH_2 + Br_2 \longrightarrow CH_2Br-CH_2Br$	加成反应	1	2	17
	$CH_3-CH=CH_2 + H_2 \xrightarrow{催化剂} CH_3-CH_2-CH_3$	加成反应	1	3	33
	$CH_2=CH_2 + HCl \longrightarrow CH_3-CH_2Cl$	加成反应	2	1	45
	$CH_3-CH=CH_2 + Cl_2 \xrightarrow{\triangle} Cl-CH_2-CH=CH_2 + HCl$	取代反应	2	1	49
炔　烃	$H-C\equiv C-H + Br_2 \longrightarrow H-\underset{\displaystyle Br}{\overset{\displaystyle Br}{C=C}}-H$	加成反应	1	3	33
	$CH\equiv CH + HCl \xrightarrow[\triangle]{催化剂} CH_2=CHCl$	加成反应	1	3	34
	$nCH\equiv CH \xrightarrow{引发剂} \left[CH=CH\right]_n$	聚合反应	1	3	34

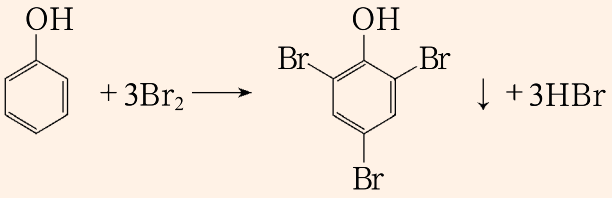
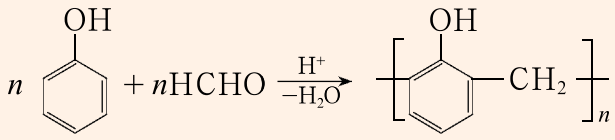
山东出版
SHANDONG PUBLISHING

续表

物质类别	反　应	反应类型	章	节	页
苯及其同系物		取代反应	1	3	36
		取代反应	1	3	37
		加成反应	1	3	37
		加成反应	1	3	37
		氧化反应	1	3	38
卤代烃	$CH_2(H)-CH_2(Cl)+NaOH \xrightarrow[\triangle]{\text{乙醇}} CH_2{=}CH_2\uparrow+NaCl+H_2O$	消去反应	2	1	50
	$CH_3CH_2Br+NaOH \xrightarrow{H_2O} CH_3CH_2OH+NaBr$	取代反应	2	1	52
	$CH_3CH_2Br+NaOH \xrightarrow[\triangle]{\text{乙醇}} CH_2{=}CH_2\uparrow+NaBr+H_2O$	消去反应	2	1	52
	$CH_3CH_2Br+NaCN \longrightarrow CH_3CH_2CN+NaBr$	取代反应	3	1	98

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

续表

物质类别	反　应	反应类型	章	节	页
醇	$CH_2(H)-CH_2(OH) \xrightarrow[170℃]{浓硫酸} CH_2=CH_2\uparrow + H_2O$	消去反应	2	1	50
	$CH_3CH_2CH_2OH + HBr \longrightarrow CH_3CH_2CH_2Br + H_2O$	取代反应	2	2	58
	$C_2H_5-OH + H-OC_2H_5 \xrightarrow[140℃]{浓硫酸} C_2H_5-O-C_2H_5 + H_2O$	取代反应	2	2	58
	$CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OH + HOC_2H_5 \underset{\triangle}{\overset{浓硫酸}{\rightleftharpoons}} CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-O-C_2H_5 + H_2O$	酯化反应	2	2	60
	$2CH_3CH_2CH_2OH + O_2 \xrightarrow[\triangle]{Cu} 2CH_3CH_2-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-H + 2H_2O$	氧化反应	2	2	60
	$2CH_3CHOHCH_3+O_2 \xrightarrow[\triangle]{Cu} 2CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-CH_3+2H_2O$	氧化反应	2	2	60
酚		取代反应	2	2	63
		聚合反应	2	2	64
醛	$CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-H + H_2 \xrightarrow{催化剂} CH_3CH_2OH$	还原反应	2	1	50

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

续表

物质类别	反　应	反应类型	章	节	页
醛	$2CH_3-\overset{O}{\overset{\|\|}{C}}-H + O_2 \xrightarrow[\triangle]{\text{催化剂}} 2CH_3-\overset{O}{\overset{\|\|}{C}}-OH$	氧化反应	2	1	50
	$CH_3CHO + 2[Ag(NH_3)_2]OH \xrightarrow{\triangle} CH_3COONH_4 + 2Ag\downarrow + 3NH_3 + H_2O$	氧化反应	2	3	74
	$CH_3CHO + 2Cu(OH)_2 \xrightarrow{\triangle} CH_3COOH + Cu_2O\downarrow + 2H_2O$	氧化反应	2	3	74
	$RCHO + H_2 \xrightarrow{\text{催化剂}} RCH_2OH$	还原反应	2	3	74
	$CH_3-\overset{O}{\overset{\|\|}{C}}-H + HCN \xrightarrow{\text{催化剂}} H-\overset{CH_3}{\overset{\|}{\underset{OH}{\underset{\|}{C}}}}-CN$	加成反应	2	3	72
糖	$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \xrightarrow[\triangle]{H^+} 2C_6H_{12}O_6$ 麦芽糖　　葡萄糖	水解反应	2	3	77
	$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \xrightarrow[\triangle]{H^+} C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$ 蔗糖　　葡萄糖　　果糖	水解反应	2	3	77
	$(C_6H_{10}O_5)_n + nH_2O \xrightarrow[\triangle]{H^+} nC_6H_{12}O_6$ 淀粉　　葡萄糖	水解反应	2	3	77
羧酸	$R-\overset{O}{\overset{\|\|}{C}}-OH + R'OH \underset{\triangle}{\overset{\text{浓硫酸}}{\rightleftharpoons}} R-\overset{O}{\overset{\|\|}{C}}-OR' + H_2O$	酯化反应	2	4	83
	$R-\overset{O}{\overset{\|\|}{C}}-OH + NH_3 \xrightarrow{\triangle} R-\underset{\text{酰胺}}{\overset{O}{\overset{\|\|}{C}}}-NH_2 + H_2O$	取代反应	2	4	83
	$RCOOH \xrightarrow{LiAlH_4} RCH_2OH$	还原反应	2	4	83
	$RCH_2COOH + Cl_2 \xrightarrow{\text{催化剂}} RCHCOOH + HCl$ Cl	取代反应	2	4	83

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

续表

物质类别	反　应	反应类型	章	节	页
酯	$R-\overset{O}{\overset{\|\|}{C}}-OR' + H-OH \underset{\triangle}{\overset{H^+}{\rightleftharpoons}} R-\overset{O}{\overset{\|\|}{C}}-OH + R'OH$	水解反应	2	4	84
	$R-\overset{O}{\overset{\|\|}{C}}-OR' + NaOH \xrightarrow[\triangle]{H_2O} R-\overset{O}{\overset{\|\|}{C}}-ONa + R'OH$	水解反应	2	4	84
	$\begin{matrix}RCOOCH_2\\ \|\\ RCOOCH\\ \|\\ RCOOCH_2\end{matrix} + 3NaOH \xrightarrow[\triangle]{H_2O} 3RCOONa + \begin{matrix}CH_2OH\\ \|\\ CHOH\\ \|\\ CH_2OH\end{matrix}$	水解反应	2	4	85
高分子化合物（合成高分子化合物的相关反应）	$n\begin{matrix}CH_2=CH\\ \quad\quad\bigcirc\end{matrix} \xrightarrow{引发剂} \left[\begin{matrix}CH_2-CH\\ \quad\quad\bigcirc\end{matrix}\right]_n$	加聚反应	3	3	116
	$n\begin{matrix}CH_2=C-CH=CH_2\\ \quad\quad\ \|\\ \quad\quad CH_3\end{matrix} \xrightarrow{引发剂} \left[\begin{matrix}CH_2-C=CH-CH_2\\ \quad\quad\ \|\\ \quad\quad CH_3\end{matrix}\right]_n$	加聚反应	3	3	118
	$n\begin{matrix}CH_2=C\\ \quad\quad\ \|\\ \quad\quad COOCH_3\end{matrix} \xrightarrow{引发剂} \left[\begin{matrix}CH_2-C\\ \quad\quad\ \|\\ \quad\quad COOCH_3\end{matrix}\right]_n$	加聚反应	3	3	118
	$nH_2N(CH_2)_6NH_2 + nHOOC(CH_2)_4COOH \xrightarrow{-H_2O} \left[NH(CH_2)_6NHC(CH_2)_4C\right]_n$（O 在 C 上）	缩聚反应	3	3	119

山东出版
SHANDONG PUBLISHING

元 素 周 期 表

周期 \ 族	I A 1	II A 2	III B 3	IV B 4	V B 5	VI B 6	VII B 7	VIII 8	VIII 9	VIII 10	I B 11	II B 12	III A 13	IV A 14	V A 15	VI A 16	VII A 17	0 18	电子层	0 族 电子数
1	1 H 氢 $1s^1$ 1.008																	2 He 氦 $1s^2$ 4.003	K	2
2	3 Li 锂 $2s^1$ 6.941	4 Be 铍 $2s^2$ 9.012											5 B 硼 $2s^22p^1$ 10.81	6 C 碳 $2s^22p^2$ 12.01	7 N 氮 $2s^22p^3$ 14.01	8 O 氧 $2s^22p^4$ 16.00	9 F 氟 $2s^22p^5$ 19.00	10 Ne 氖 $2s^22p^6$ 20.18	L K	8 2
3	11 Na 钠 $3s^1$ 22.99	12 Mg 镁 $3s^2$ 24.31											13 Al 铝 $3s^23p^1$ 26.98	14 Si 硅 $3s^23p^2$ 28.09	15 P 磷 $3s^23p^3$ 30.97	16 S 硫 $3s^23p^4$ 32.06	17 Cl 氯 $3s^23p^5$ 35.45	18 Ar 氩 $3s^23p^6$ 39.95	M L K	8 8 2
4	19 K 钾 $4s^1$ 39.10	20 Ca 钙 $4s^2$ 40.08	21 Sc 钪 $3d^14s^2$ 44.96	22 Ti 钛 $3d^24s^2$ 47.87	23 V 钒 $3d^34s^2$ 50.94	24 Cr 铬 $3d^54s^1$ 52.00	25 Mn 锰 $3d^54s^2$ 54.94	26 Fe 铁 $3d^64s^2$ 55.85	27 Co 钴 $3d^74s^2$ 58.93	28 Ni 镍 $3d^84s^2$ 58.69	29 Cu 铜 $3d^{10}4s^1$ 63.55	30 Zn 锌 $3d^{10}4s^2$ 65.41	31 Ga 镓 $4s^24p^1$ 69.72	32 Ge 锗 $4s^24p^2$ 72.64	33 As 砷 $4s^24p^3$ 74.92	34 Se 硒 $4s^24p^4$ 78.96	35 Br 溴 $4s^24p^5$ 79.90	36 Kr 氪 $4s^24p^6$ 83.80	N M L K	8 18 8 2
5	37 Rb 铷 $5s^1$ 85.47	38 Sr 锶 $5s^2$ 87.62	39 Y 钇 $4d^15s^2$ 88.91	40 Zr 锆 $4d^25s^2$ 91.22	41 Nb 铌 $4d^45s^1$ 92.91	42 Mo 钼 $4d^55s^1$ 95.94	43 Tc 锝 $4d^55s^2$ 〔98〕	44 Ru 钌 $4d^75s^1$ 101.1	45 Rh 铑 $4d^85s^1$ 102.9	46 Pd 钯 $4d^{10}$ 106.4	47 Ag 银 $4d^{10}5s^1$ 107.9	48 Cd 镉 $4d^{10}5s^2$ 112.4	49 In 铟 $5s^25p^1$ 114.8	50 Sn 锡 $5s^25p^2$ 118.7	51 Sb 锑 $5s^25p^3$ 121.8	52 Te 碲 $5s^25p^4$ 127.6	53 I 碘 $5s^25p^5$ 126.9	54 Xe 氙 $5s^25p^6$ 131.3	O N M L K	8 18 18 8 2
6	55 Cs 铯 $6s^1$ 132.9	56 Ba 钡 $6s^2$ 137.3	57~71 La~Lu 镧 系	72 Hf 铪 $5d^26s^2$ 178.5	73 Ta 钽 $5d^36s^2$ 180.9	74 W 钨 $5d^46s^2$ 183.8	75 Re 铼 $5d^56s^2$ 186.2	76 Os 锇 $5d^66s^2$ 190.2	77 Ir 铱 $5d^76s^2$ 192.2	78 Pt 铂 $5d^96s^1$ 195.1	79 Au 金 $5d^{10}6s^1$ 197.0	80 Hg 汞 $5d^{10}6s^2$ 200.6	81 Tl 铊 $6s^26p^1$ 204.4	82 Pb 铅 $6s^26p^2$ 207.2	83 Bi 铋 $6s^26p^3$ 209.0	84 Po 钋 $6s^26p^4$ 〔209〕	85 At 砹 $6s^26p^5$ 〔210〕	86 Rn 氡 $6s^26p^6$ 〔222〕	P O N M L K	8 18 32 18 8 2
7	87 Fr 钫 $7s^1$ 〔223〕	88 Ra 镭 $7s^2$ 〔226〕	89~103 Ac~Lr 锕 系	104 Rf 𨧀 * $(6d^27s^2)$ 〔261〕	105 Db 𨨏 * $(6d^37s^2)$ 〔262〕	106 Sg 𨭆 * 〔266〕	107 Bh 𨨨 * 〔264〕	108 Hs 𨭊 * 〔277〕	109 Mt 鿏 * 〔268〕	110 Uun * 〔281〕	111 Uuu * 〔272〕	112 Uub * 〔285〕								

原子序数 — 92 U — 元素符号，红色指放射性元素

元素名称 — 铀

注 * 的是人造元素

$5f^36d^17s^2$ — 价电子排布，括号指可能的电子排布

238.0 — 相对原子质量（加括号的数据为该放射性元素半衰期最长同位素的质量数）

非金属　金　属　过渡元素

镧系	57 La 镧 $5d^16s^2$ 138.9	58 Ce 铈 $4f^15d^16s^2$ 140.1	59 Pr 镨 $4f^36s^2$ 140.9	60 Nd 钕 $4f^46s^2$ 144.2	61 Pm 钷 $4f^56s^2$ 〔145〕	62 Sm 钐 $4f^66s^2$ 150.4	63 Eu 铕 $4f^76s^2$ 152.0	64 Gd 钆 $4f^75d^16s^2$ 157.3	65 Tb 铽 $4f^96s^2$ 158.9	66 Dy 镝 $4f^{10}6s^2$ 162.5	67 Ho 钬 $4f^{11}6s^2$ 164.9	68 Er 铒 $4f^{12}6s^2$ 167.3	69 Tm 铥 $4f^{13}6s^2$ 168.9	70 Yb 镱 $4f^{14}6s^2$ 173.0	71 Lu 镥 $4f^{14}5d^16s^2$ 175.0
锕系	89 Ac 锕 $6d^17s^2$ 〔227〕	90 Th 钍 $6d^27s^2$ 232.0	91 Pa 镤 $5f^26d^17s^2$ 231.0	92 U 铀 $5f^36d^17s^2$ 238.0	93 Np 镎 $5f^46d^17s^2$ 〔237〕	94 Pu 钚 $5f^67s^2$ 〔244〕	95 Am 镅 * $5f^77s^2$ 〔243〕	96 Cm 锔 * $5f^76d^17s^2$ 〔247〕	97 Bk 锫 * $5f^97s^2$ 〔247〕	98 Cf 锎 * $5f^{10}7s^2$ 〔251〕	99 Es 锿 * $5f^{11}7s^2$ 〔252〕	100 Fm 镄 * $5f^{12}7s^2$ 〔257〕	101 Md 钔 * $(5f^{13}7s^2)$ 〔258〕	102 No 锘 * $(5f^{14}7s^2)$ 〔259〕	103 Lr 铹 * $(5f^{14}6d^17s^2)$ 〔262〕

注：相对原子质量录自2001年国际原子量表，并全部取4位有效数字。

山东出版 SHANDONG PUBLISHING

后　记

《“新世纪”普通高中化学课程标准实验教科书》是教育部审定通过的实验教材，共8册，分别对应高中化学的8个模块，供高中学段的学生使用；本册为《有机化学基础（选修）》，供选修本模块的学生使用。

这套教材的编写坚持以《基础教育课程改革指导纲要》的精神为指导，努力贯彻《普通高中化学课程标准（实验稿）》的要求，充分体现普通高中化学各课程模块的功能定位和风格特点，综合反映学生发展、社会发展和学科发展对普通高中化学教材在基础性、时代性、选择性方面的要求，遵循科学教育的规律，倡导积极主动的多样化学习方式和科学有效的学习策略，培养学生的创新精神和实践能力，在义务教育的基础上为进一步提高学生的科学素养构建新的发展平台。

这套教材由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织编写。参加编写的人员有国家基础教育化学课程标准研制组负责人及核心成员，著名高校化学学科专家，重点中学的特级教师和中青年骨干教师，以及化学教学研究人员。全套教材由普通高中化学课程标准研制组负责人、北京师范大学王磊教授，陈光巨教授任主编，中国科学院资深院士、北京大学徐光宪教授任总顾问。本册教材主编为曹居东、王磊、尹冬冬。参加编写的有曹居东、王磊、尹冬冬、赵河林、齐红涛、陈颖、黄燕宁、杨晶晶、林媛媛、孟海燕、蔡重庆、岳波。

经过实验区的教学实践后，教材编写组广泛征询实验区的意见和建议，分别于2006年、2007年和2011年对教材进行了三次修改，在保持原有教材特点的基础上进一步凝练了核心知识、突出了学习重点。参加第三次教材修订的有曹居东、王磊、尹冬冬、齐红涛、陈颖、赵河林。

这套教材的编写得到了教育部基础教育司、基础教育课程发展中心的关心和指导。山东科学技术出版社对这套教材的出版极为重视，在人力、物力等方面给予了大力支持。编辑刘宗寅、郑淑娟为教材的编写工作付出了辛勤的努力。在此，向所有关心和支持这套教材编写、出版、发行的单位和同志致以诚挚的谢意！

这套教材中的部分图片引自有关图书资料，特向这些图片的制作者和图书的出版者表示感谢。由于多种原因事先无法与某些图片的制作者和有关图书的出版者联系，特向他们表示歉意。

由于时间仓促，书中难免有疏漏之处，恳请广大师生和教学研究人员提出宝贵意见，以便使其不断完善。

北师大“新世纪”普通高中化学课程标准实验教材编写组

2011年2月

山东出版
SHANDONG PUBLISHING