



CHEMISTRY

普通高中教科书

化 学

选择性必修3

有机化学基础



普通高中教科书

化 学
选择性必修3

有机化学基础

主编 王祖浩



主 编 王祖浩

副 主 编 吴 星 刘宝剑 王云生

本册主编 王祖浩

本册副主编 张天若



写给同学们的话



亲爱的同学们，欢迎学习高中化学选择性必修课程《有机化学基础》。初中的化学学习经历，虽然只是化学的启蒙，但大家已经初步了解了化学发展的历程，领略了化学科学的魅力，体验了探究的乐趣。通过高中化学必修课程的学习，我们进一步领悟了化学博大精深的科学思想，理解了化学与人类文明的密切关系，学到了更多有趣、有用的化学知识。

化学是在原子、分子水平上研究物质的组成、结构、性质、转化及其应用的一门基础学科。物质结构决定物质性质，而物质性质直接关系到物质的用途。时至今日，化学家们积累起来的知识虽不能解决与社会发展有关的全部问题，但也结出了丰硕的果实。与人类已知的几百万种生物相比，已知的化合物达上亿种，近年来每年创造的新物质就达数百万种。化学不仅与制药、石油、橡胶、造纸、建材、钢铁、食品、纺织、皮革、化肥等传统行业荣衰与共，还带动了信息、能源、航天、生命等高科技产业的发展。据统计，全球活跃在与化学相关领域中的科学家、工程技术人员，是一支最为庞大的研究队伍。

为了保卫地球，化学家们开创了绿色化学时代。“绿色发展”已经成为我国可持续发展的基本国策。我们正在努力并且已经能够做到：使天空更清洁，从源头防治水污染，修复污染的土地，建构清洁低碳、安全高效的能源体系，实现绿色低碳的生活方式……

我细心观察过今天的高中生，欣喜地发现，随着时代的进步，同学们的视野更为开阔，思维愈发活跃。教师们常常在为高中生各种新奇的创意与问题惊讶甚至烦恼的同时，不能不叹服他们对化学内涵的深刻理解，以及表现出来的巨大思维潜力。有了如此乐观的学习基础，在高中化学选择性必修课程的学习中，同学们能更多地体验实验探究的乐趣，掌握科学的研究方法，感受化学在解决人类面临的重大挑战时所作出的贡献。

依据《普通高中化学课程标准（2017年版2020年修订）》，我们积极探索化学学习对促进学生核心素养发展的重要影响，从内容、思路和活动等多个方面对化学教材进行了修订，力求体现教材的全面育人功能。《有机化学基础》作为继化学必修课程之后的选择性必修课程，在继承科学传统的基础上，更好地融合了学生的认知特征和化学发展的线索，建构了新的内容体系，介绍了有机化学的发展及研究思路、有机物的结构与分类、石油化工的基础物质、生活中常用的有机物、药物合成的重要原料、生命活动的物质基础，结合大量的事例说明有机物是人类赖以生存的重要物质基础以及它对促进社会可持续发展的重要意义，帮助同学们学好有机化学。

教材的主要栏目设置了丰富多彩的学习活动，帮助同学们在阅读过程中更好地理解化学。

【温故知新】在新旧知识之间架起桥梁，引导同学们回顾已有知识和思维经验，寻找与新学知识之间的密切联系，激发探究新知识的欲望。



【交流讨论】结合学习目标设置了一系列与内容有关的问题情境，引导同学们展开讨论，为理解知识和深化思维提供基础。

【基础实验】要求同学们在学习中同步完成的必做实验，不仅要了解这些实验的基本原理，还要学会动手操作，切实提高自己观察、记录和分析实验现象的能力。

【实验探究】引领同学们积极投身更多的实验活动，熟悉实验流程，设计探究方案，独立或合作完成实验操作，记录实验现象，基于实验证据进行推理。

【观察思考】教师展示实验现象、模型、图表等，提出相关问题激发同学们思考，尝试解析其中蕴涵的化学原理，帮助同学们开启化学思维。

【学以致用】在教材阐述新知识之后插入典型问题，启迪同学们运用所学知识去解决实际问题，提高知识的迁移能力。

【方法导引】结合学习内容，介绍解决相关问题的一般方法和特殊方法，认识科学方法对化学学习和研究的重要性，帮助同学们形成思考和解决化学问题的正确思路。

【调查研究】通过查阅资料、考察或访谈，收集生活和生产实际中的化学问题，运用已学知识和方法揭示化学现象的本质，体验化学知识应用的价值。

【生活向导】运用化学原理解释生活中的一些常见现象，提供相关的学科知识背景，帮助同学们建立合理选择和正确使用物质的意识。

【选择决策】请同学们依据所学的知识和方法，对化学、技术与社会等方面开放性问题进行分析、权衡，提出自己的看法，并作出合理判断。

【拓展视野】提供与学习内容相关的更多生动的素材，帮助同学们在完成学习任务之余，进一步开拓视野，领略化学的奇妙和魅力。

【科学史话】选取相关的、意义重大的化学史实，生动地还原其发展过程，帮助同学们从科学家的角度去思考问题，感受中外科学家的创新精神。

【学科提炼】以简洁的语言介绍与化学核心知识相关的基本原理、思想方法等，尝试探索化学科学的本质特点，揭示化学知识的教育功能。

【批判性思维】通过对教材知识涉及的学科问题、科学实验、社会性议题的分析，提升同学们质疑批判和开放性思维的品质。

【跨学科链接】运用化学知识解释生物、物理、能源和医学等相关领域的问题，从多角度展现化学科学的价值，提高同学们分析和解决复杂问题的能力。

化学，伴随我们一生的科学。在过去的岁月中，我们渴望了解化学，为此我们有过喜悦，也有过失望，但探索的步伐一直没有停歇。今天，当我们以一种新的姿态学习高中化学，你眼中的物质世界将会变得更加绚丽多彩！让我们充满信心，用智慧和勤奋去迎接新的学习任务，探索更多的科学奥秘，攀登更高的科学台阶，创造更加美好的明天！

王祖浩

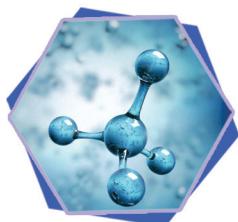
2022年11月

目录

CHEMISTRY

专题1 有机化学的发展及研究思路 1

- 第一单元 有机化学的发展与应用 / 2
第二单元 科学家怎样研究有机物 / 7



专题2 21 有机物的结构与分类

- 第一单元 有机化合物的结构 / 22
第二单元 有机化合物的分类和命名 / 37



专题3 51 石油化工的基础物质——烃

- 第一单元 脂肪烃的性质及应用 / 52
第二单元 芳香烃 / 64



专题4 生活中常用的有机物 ——烃的含氧衍生物

77

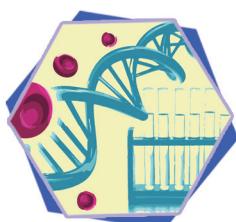
- 第一单元 醇和酚 / 78
第二单元 醛 羧酸 / 92



专题5 药物合成的重要原料 ——卤代烃、胺、酰胺

109

- 第一单元 卤代烃 / 110
第二单元 胺和酰胺 / 119
第三单元 有机合成设计 / 126



专题6 生命活动的物质基础 ——糖类、油脂、蛋白质

139

- 第一单元 糖类和油脂 / 140
第二单元 蛋白质 / 152

附录 中英文名词对照表 / 170

专题 1

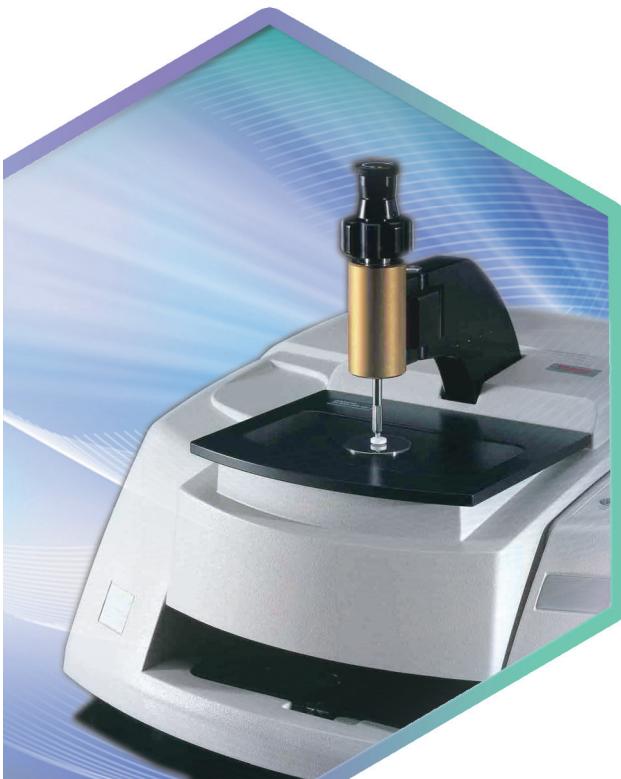
有机化学的发展 及研究思路

有机化学的发展与应用

科学家怎样研究有机物



有机化学是研究有机化合物组成、结构、性质、制备和应用的一门学科。有机化合物对于人类的健康、科学技术的进步和社会经济的发展都有着十分重要的作用。从获取和提纯有机化合物，到分析它们的组成、结构和性质，再到用简单原料制备较为复杂的有机物，人们对有机化学的认识经历了一个漫长的过程。本专题概述了有机化学的发展和应用，以及科学家研究有机物的基本思路和方法。





第一单元 有机化学的发展与应用



有机化学经历了漫长的发展过程。我们的祖先早在3 000多年前就已经用煤作为燃料，2 000多年前就掌握了石油和天然气的开采技术，从植物中提取染料、药物和香料等物质已经有了上千年的历史。19世纪初期，瑞典化学家贝采利乌斯提出了有机化学概念，使有机化学逐渐发展成为化学的一个重要分支。人类对物质结构认识的不断深入和现代分析技术的不断发展，给有机化学注入了新的活力。

图 1-1 瑞典化学家贝采利乌斯
(J. J. Berzelius, 1779—1848)



目标预览

通过本单元内容的学习，要求同学们努力达到：

能结合实例说明有机化学发展的过程和趋势；认识人工合成有机化合物对提高人类生活质量的重要意义；能举例说明有机化合物与生命活动的密切关系；能收集资料阐述与有机化学相关的社会性议题，并作出有科学依据的判断和评价。



温故知新

请列举一些生产、生活中常见的有机化合物应用的实例，评价它们对人类社会生活的影响。

21世纪的今天，各种合成的有机化合物不仅遍布于我们生活的每个角落，也广泛应用于生产、国防及科研的各个领域。有机物是人类赖以生存的重要物质基础，人类的活动时刻离不开有机物。在人类衣食住行所需的物品中，有许多来源于天然有机物，如糖类、油脂、蛋白质、石油、天然气和天然橡胶等。人类对生活质量的要求越来越高，自然资源却不断减少，越来越多的合成有机物进入了人类的生活，如塑料、合成纤维、合成橡胶、合成药物等。现代社会对人工合成的有机物的需求正日益增强。

交流讨论



你在日常生活中接触到哪些有机物？归纳这些有机物的一些性质和用途，并以“人工合成的有机物对我生活的影响”为话题，分享你的看法。



图 1-2 人类生活离不开有机物

人类认识和利用有机化合物的年代很早，远在古代就已经掌握了酿酒、制醋、染色等技术，但对有机物的制备却长期缺乏正确的认识。19世纪中叶以前，人们认为有机物只能由动物或植物产生，不可能通过人工的方法将无机物转变成有机物，这种“生命力论”的思想曾一度扼杀了许多化学家的创造力。



科学史话

打破无机物和有机物界限的化学家维勒

1824年，德国化学家维勒在制备无机盐氰酸铵(NH_4CNO)时得到了一种结晶物。在大量实验的基础上，他指出：“这种结晶物与尿素 $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$ 对比，毫无疑问是绝对相同的物质。不用人或狗的肾脏也可以得到尿素。”此后，其他化学家又以无机物为原料合成了醋酸、苹果酸、甲烷、乙炔等有机化合物，使人们彻底抛弃了“生命力论”。维勒的出色工作为有机化学成为一门独立的分支科学奠定了重要基础。



图 1-3 德国化学家维勒
(F. Wöhler, 1800—1882)



由于生活与生产的需要，人们学会了合成、分离和提纯有机物。迄今为止，人类发现和合成的有机化合物已超过1亿种。从1995年开始，每年新发现和新合成的有机化合物超过100万种。

现在，有机化学已经与其他学科融合形成了分子生物学、药物化学、材料科学以及环境科学等多个新兴学科，应用前景十分广阔。

跨学科链接

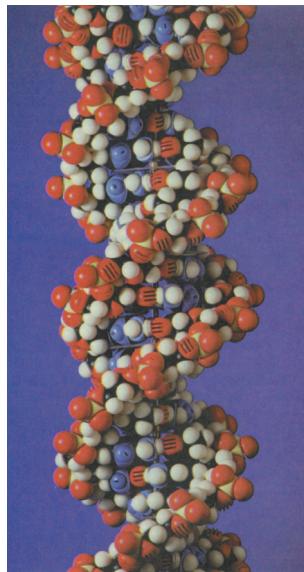


图 1-4 DNA的双螺旋结构模型

有机物对人类的生命活动与健康的影响

生命体中的许多物质，如细胞中存在的糖类、脂肪、氨基酸、蛋白质和核酸等都是有机物。有机物在维持生命活动的过程中发挥着重要的作用。例如，依靠酶的催化作用，人体将食物消化，并将一些简单分子合成为生命活动所需的生物分子；具有遗传功能的DNA能够把遗传信息传递给下一代。

药物化学已经成为化学的一个重要领域，世界上每天都会合成出许多种经过药理试验的备选药物，大多数的备选药物是有机化合物。利用合成药物治疗疾病已经成为人类文明进步的重要标志，使用合成药物能够帮助人类战胜疾病，大大延长人类的寿命。

随着有机化学的发展，人类对DNA双螺旋结构和功能的认识不断深入，人类对自身的认知越来越清晰，运用基因工程技术治疗疾病已经不再是梦想，基因技术的发展将会对人类的未来产生更直接、更深远的影响。

科学史话

我国科学家在世界上首次人工合成的蛋白质

——结晶牛胰岛素

世界上第一次用人工方法合成的蛋白质——结晶牛胰岛素，于1965年在中国诞生。这项工作由中国科学院生物化学研究所、有机化学研究所和北京大学化学系三家单位协作完成。牛胰岛素是由21个氨基酸组成的A链与由30个氨基酸组成的B链，通过3个二硫桥键结合而成的蛋白质。它的合成须按顺序完成约220个反应。科学家们齐心协力，不断探索合成条

件和改进合成路线，终于在世界上首次成功地用有机化学的方法以氨基酸为原料合成了这个具有生物活性的蛋白质，使人类在认识生命、揭开生命奥秘的伟大进程中迈出了一大步，促进了生命科学的发展，标志着人类合成蛋白质时代的开始。结晶牛胰岛素的人工合成于1982年获国家自然科学成果一等奖。

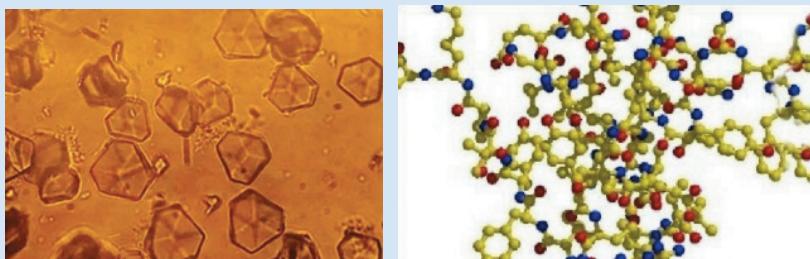


图 1-5 结晶牛胰岛素及其结构示意图

材料科学是一门新兴的交叉学科，是发展众多高科技领域的基础和先导，具有独特物理、化学性质的有机功能材料对人类生产、生活产生了直接而深远的影响。例如，选择液晶材料制作电脑显示屏，选择耐高温、高强度的碳纤维用于航天服的制作。又如，人工心脏中含有甲基硅橡胶、聚氨酯等多种有机功能材料。

环境科学是在人们亟待解决环境问题的社会需求下迅速发展起来的，有机化学为研究和改善环境质量作出了积极贡献。例如，甲醇汽油、乙醇汽油等含氧燃料的开发和应用在一定程度上应对了石油资源短缺的问题，并且含氧燃料燃烧更加完全，减少了对环境的污染。又如，植物中的纤维素和木质素（非纤维素，一种含有苯环结构的芳香族化合物）结合在一起，在分离出的木质素中加入适量的固化剂后喷洒在沙丘表面，可有效固定表面沙粒和土壤水分，提高沙漠植树的成活率。



图 1-6 特种功能有机材料



按不同浓度喷洒木质素

喷洒木质素后沙丘上出苗整齐

图 1-7 用木质素固沙



大量有机物的合成和使用，极大地改变了人们的生活习惯，提高了人类的生活质量，从某种意义上讲，化学家为人类社会的可持续发展创造了一个新的物质世界。



调查研究

查阅有关资料，了解有机化学材料（如医用材料、光功能材料、工程材料、黏合剂、涂料等）的组成、性质、功能及其发展现状。

理解应用

1. 1824年，德国化学家维勒在制备无机盐氰酸铵时得到了尿素，第一次通过人工的方法将无机物转变成有机物。下列关于尿素的叙述不正确的是（ ）
 - A. 氰酸铵属于离子化合物，尿素属于共价化合物
 - B. 尿素是人体新陈代谢的一种产物
 - C. 工业上用氨气和二氧化碳在高温、高压下合成尿素的反应是氧化还原反应
 - D. 尿素与氰酸铵（ NH_4CNO ）互为同分异构体
2. 下列关于某些社会热点问题的说法中，不正确的是()
 - A. 禁止使用含铅汽油是为了提高汽油的燃烧效率
 - B. 甲醇超标的酒不能饮用
 - C. 进入大气的氟氯代烃会破坏高空臭氧层
 - D. 光化学烟雾的产生与人为排放的烃、氮氧化物有关
3. 石油是一种重要的能源，我国面临着石油短缺的问题。从可持续发展的角度看，以下解决能源问题的做法不恰当的是（ ）
 - A. 大量使用木材作燃料
 - B. 用液氢代替汽油
 - C. 开发风能
 - D. 开发地热能
4. 塑料、合成橡胶和合成纤维都是聚合物，这些物质都是人工合成的，目前人们已经合成出6万种以上的聚合物。塑料制品是我们生活中接触最多的聚合物之一。请查阅资料或根据生活经验，指出日常生活中常见的塑料制品，并说明它们的使用对人类生活质量和生存环境的影响。
5. 结合有机化学发展史中某一重要的发现，阐述有机化学家思维方法的创新及其影响。
6. 有机化学研究与生命科学发展的关系如何？请查阅有关资料，阐述你对它们过去、现在以及未来关系的认识。

第二单元 科学家怎样研究有机物

我们知道**有机化合物**(organic compound)一般是指含有碳元素的化合物，其中绝大多数含有氢元素，很多有机化合物还含有氧元素、氮元素、卤族元素、硫元素和磷元素等。有机物与无机物除了组成上存在差异外，在结构和性质上也有明显的不同。有机化合物的组成和结构特点，决定了大多数有机物与无机物具有不同的性质。例如，多数有机物易溶于极性较小的溶剂，熔点、沸点较低，容易燃烧，受热易分解，发生化学反应时其反应速率通常较小，副反应较多。

人类对有机化合物的研究经历了“从天然的动植物中提取、分离出一些纯净物”到“研究有机化合物的组成、结构、性质和应用”，再到“根据需要对有机化合物分子进行设计和合成”等不同的发展阶段。目前，有机化学在不同领域与其他学科相融合，开辟出了新的更为广阔的研究空间。



目标预览

通过本单元内容的学习，要求同学们努力达到：

认识分离和提纯有机化合物的常见方法，能结合实例说明有机物分子结构测定常用的仪器分析方法，能运用现代分析技术对简单有机物的结构进行分析和表征，能列举有机化学反应历程研究的方法和意义。



有机化合物的分离、提纯

从天然动植物中提取有机化合物时，得到的往往是含有杂质的粗产品。然而，要鉴定和研究未知有机化合物的组成和结构，需要更纯净的有机化合物。由于有机化学反应速率小、副反应多，工业生产及实验室中合成的有机化合物大多也不是纯净物，它们往往混有未反应的原料或反应副产物，必须经过分离、提纯才能得到纯品。



方法导引

有机化合物的分离、提纯

有机化合物粗品分离、提纯的方法很多，基本原理都是利用被提纯物与杂质性质的差异达到分离的目的。例如，提纯固体有机物可采用重结晶法，提纯液体有机物常用蒸馏或萃取等方法。



将混合物中第一次结晶得到的晶体溶于一定量的溶剂中，再进行蒸发（或冷却）、结晶、过滤，如此的多次操作称为重结晶。有些物质的提纯，需经过重结晶才能使产品纯度合乎要求。重结晶是利用混合物中各组分在同一溶剂中的溶解度不同而使它们相互分离，因此首要工作是选择恰当的溶剂。首先，杂质在此溶剂中溶解度要很小或很大，易于除去；其次，被提纯的有机物在此溶剂中的溶解度受温度影响较大，比如有机物在温度较高的溶剂中溶解度较大，在温度较低的溶剂中溶解度较小，冷却后易于结晶析出。



温故知新

萃取、蒸馏是分离液体混合物的两种常用方法。选用的依据是什么？操作上应注意什么？

萃取分为液-液萃取和固-液萃取两种，是利用混合物中各组分在萃取剂中的溶解度不同而使它们相互分离的操作。液-液萃取是向待分离溶液中加入与之不互溶（或部分互溶）的萃取剂，形成共存的两个液相而加以分离的操作。一般是用有机溶剂从水溶液中萃取某种组分，如用四氯化碳萃取溶解在水中的碘，几乎所有的碘都溶解到四氯化碳中，碘得以与大量的水分离。常用的与水不互溶的有机溶剂有乙醚、石油醚^①和二氯甲烷等。分液漏斗是液-液萃取常用的操作仪器。

固-液萃取是利用溶剂使固体物料中的可溶性物质溶解于其中而加以分离的操作，又称浸取。如用乙醚从青蒿中提取青蒿素等。

蒸馏是分离、提纯液态有机物的另一种常用方法，它是利用混合物中各组分沸点不同（一般有机物与杂质的沸点应相差30℃以上），达到分离液态混合物的目的。当液态混合物中含有多种沸点不同的有机物组分时，经过多次汽化和冷凝可以将这些成分（馏分）逐步分离，这一过程称为分馏，如石油的分馏等。与萃取和重结晶相比，蒸馏的优点是不需要使用混合物组分以外的其他溶剂，不易引入新的杂质。当需要提纯的组分与其他组分沸点相近时，需经多次蒸馏方能获得较纯的样品。



实验探究

实验室中欲使用图1-8所示装置蒸馏石油，请设计实验的操作步骤，分析装置的结构，推测实验现象，并完成实验。

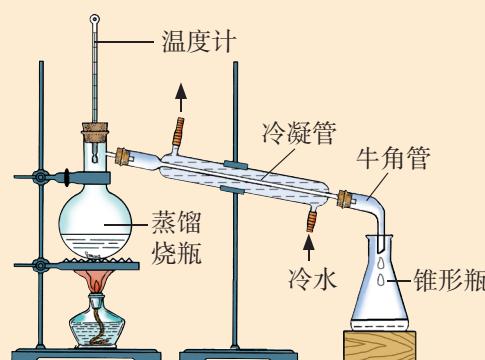


图 1-8 实验室蒸馏石油的实验装置

① 石油醚是常用的有机溶剂，沸点较低，易燃易爆，使用时要注意安全。

有机化合物组成的研究

科学家研究有机化合物时，需要知道该化合物由哪些元素组成，各元素的质量分数是多少。由此，科学家就能够知道有机化合物的最简式^①，比如葡萄糖的最简式为CH₂O。

在日常生活中，我们经常见到有机物燃烧。有机物燃烧的产物能帮助我们获取多方面的信息，这些信息为我们研究有机物的组成提供了重要的依据。



方法导引

如何确定有机物的元素组成

有机化合物通常含有碳元素和氢元素。1831年，李比希（J. von Liebig）最早提出测定有机化合物中碳、氢元素质量分数的方法，其基本原理是利用氧化铜在高温下氧化有机物，生成水和二氧化碳，然后分别采用高氯酸镁和烧碱石棉剂（简称碱石棉，即附有氢氧化钠的石棉）吸收水和二氧化碳，根据吸收前后的质量变化获得反应生成的水和二氧化碳的质量，进而确定有机化合物中氢和碳的质量分数。

使用钠熔法可定性分析有机物中是否存在氮、氯、溴、硫等元素。将有机样品与金属钠混合熔融，氮、氯、溴、硫等元素将以氰化钠、氯化钠、溴化钠、硫化钠等形式存在，再用无机定性分析法测定。

使用铜丝燃烧法可定性分析有机物中是否存在卤素。将一根纯铜丝加热至红热，蘸上试样，放在火焰上灼烧，若存在卤素，火焰则为绿色。

现在，人们常借助元素分析仪来确定有机化合物的组成。元素分析仪的工作原理是在不断通入氧气流的条件下，把样品加热到950~1200℃，使之充分燃烧，再对燃烧产物进行自动分析。元素分析仪自动化程度高，分析元素含量时所需样品量小，分析速度快，可以同时对碳、氢、氧、硫等多种元素进行分析，分析试样可以是液态或固态物质。元素分析仪与计算机连接，可进行数据的存储和统计分析，并可根据要求生成各种形式的分析报告。



图 1-9 元素分析仪

^① 最简式又称实验式，指有机化合物所含各元素原子个数的最简整数比。



有机化合物结构的研究

在有机化合物分子中，原子主要通过共价键结合在一起。分子中的原子之间可能存在多种结合方式或连接顺序，原子之间结合方式或连接顺序的不同导致了所形成的物质在性质上的差异，有时结构上的细微变化会导致性质的巨大差异，甚至截然不同。



科学史话

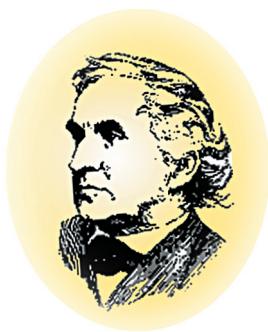


图 1-10 德国化学家李比希
(J. von Liebig, 1803—1873)

李比希对“基团”概念的贡献

1831年，德国化学家李比希在研究樟脑、樟脑酸、苦杏仁油等物质的基础上，开始尝试建立有机化合物的分类体系。他指出：“无机化学中的‘基’是简单的，有机化学中的‘基’则是复杂的，这是两者的不同点，但化学的规律是一样的。”1838年，他提出了“基”的定义：

1. 有机化学中的“基”是一系列化合物中不变的部分。
2. “基”在化合物中可被某种元素的单个原子所替代。
3. 替代“基”的基团，可以被其他基团所取代。

从此，有机化学中“基”的概念就确定了。李比希通过基团理论初步归纳总结了一些有机反应机理。现在看来，“基团理论”存在着不少缺陷，如“基”并非一成不变等。但李比希开拓性的工作，启发和引导后来的化学家们对有机化合物分子结构与性质之间的关系展开了卓有成效的研究。

“基团理论”对有机化学的发展起到了巨大的推动作用，后来人们也在不断完善这一理论。直到今天，人们在研究有机化合物时仍首先研究其所具有的基团（group），如羟基（—OH）、醛基（—CHO）、羧基（—COOH）、氨基（—NH₂）、烃基（—R）等，不同的基团具有不同的结构和性质特点。

现代化学测定有机化合物结构的分析方法比较多，经常采用的是核磁共振波谱（NMR, nuclear magnetic resonance spectroscopy）和红外光谱（IR, infrared spectroscopy）等方法。在核磁共振分析中，最常见的是对有机化合物的¹H核磁共振谱（¹H-NMR）进行分析。有机物分子中的氢原子核所处的化学环境（即其附近的基团）不同，表现出的核磁性就不同，代表核磁性特征的峰在核磁共振谱图中横坐标的位置（化学位移，符号为 δ ）也就不同。

观察思考



请根据图1-11所示的乙醇分子的结构回答以下问题。

1. 乙醇分子中有几种不同化学环境的氢原子？
2. 图1-12是分子式为C₂H₆O的两种有机化合物的¹H核磁共振谱图，你能分辨出哪一幅是乙醇的¹H-NMR谱图吗？请说出你作出判断的理由。

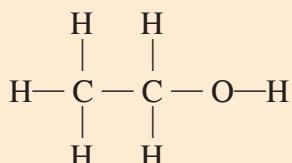
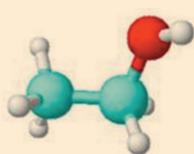


图 1-11 乙醇的分子结构模型和结构式

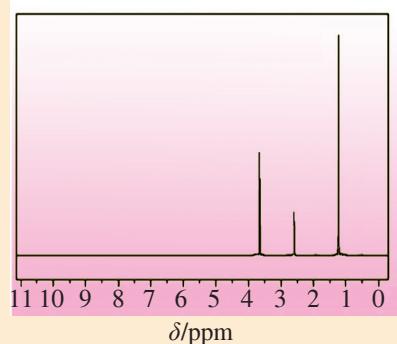
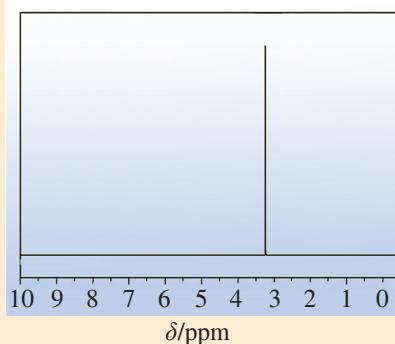


图 1-12 分子式为C₂H₆O的两种有机物的¹H核磁共振谱图^①

分子式为C₂H₆O的有机化合物，有二甲醚和乙醇两种同分异构体。二甲醚(CH₃—O—CH₃)分子中的6个氢原子处于相同的化学环境，在核磁共振谱中只会在一个位置上出现特征峰；乙醇(CH₃—CH₂—OH)分子中存在三种处于不同化学环境的氢原子，在核磁共振谱中代表这三种氢原子核磁性的特征峰共有三组，出现在不同的位置上。有机化合物的核磁共振谱提供了有机化合物结构的重要信息。对核磁共振谱的分析，有助于我们进一步认识



图 1-13 核磁共振仪



图 1-14 傅立叶红外光谱仪

① 此图为简化后的核磁共振谱图。

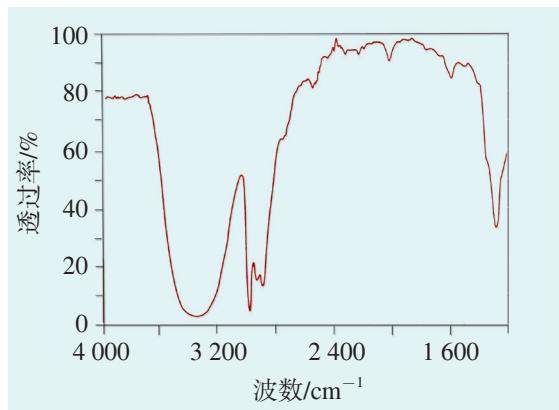


图 1-15 乙醇的红外光谱图

有机物的结构。

红外光谱是利用有机化合物分子中不同基团在红外光辐射下的特征吸收频率不同，测试并记录有机化合物对一定波长范围的红外光吸收情况。根据对红外光谱的分析，可以初步判断该有机化合物中具有哪些基团。如图1-15中 $3\ 000\text{--}3\ 600\text{ cm}^{-1}$ 范围内的吸收峰对应的是羟基的振动吸收峰，据此我们可以判定乙醇中存在羟基。

测定有机物结构的现代分析方法还有质谱法和紫外光谱法等。其中质谱法是用高能电子束轰击有机物分子，使之分离成带电的“碎片”，不同的带电“碎片”的质量(m)和所带电荷(z)的比值不同，就会在不同的 m/z 处出现对应的特征峰。可根据特征峰与碎片离子的结构对应关系分析有机物的结构。例如，苯的质谱图可表示如下：

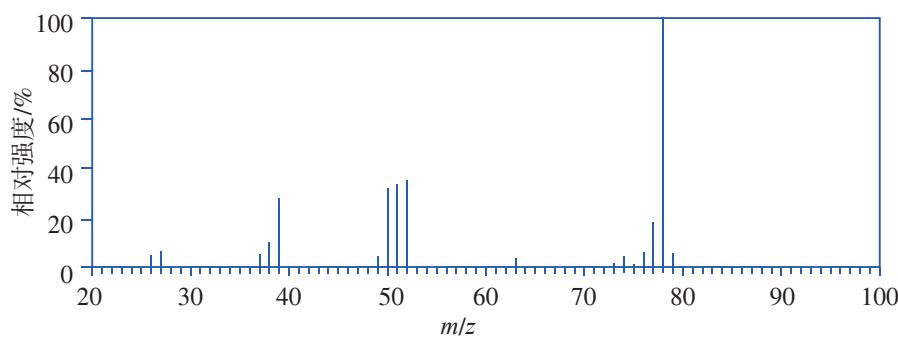


图 1-16 苯的质谱图

在图1-16中， m/z 为78的吸收峰为苯分子失去1个电子产生的离子对应的吸收峰，我们把这种由分子失去1个电子产生的离子称为分子离子，分子离子对应的吸收峰称为分子离子峰。分子离子可以进一步发生化学键的断裂生成碎片离子，碎片离子对应的吸收峰称为碎片离子峰。图1-16中 m/z 为39、51、77的吸收峰即为苯的碎片离子峰。



科学史话

质谱技术的发展和应用

早期的质谱研究工作是与元素的同位素测定紧密相关的。同位素这一术语于1910年被提出。第一台质谱仪也是在这一年诞生的。

第二次世界大战期间，质谱进入了实际应用领域。首先是美国的原子弹制造计划，需要大量的U-235，使质谱进入了军事科学领域。另外石油工业也将质谱用于定性、定量分析。

1943年，第一台商用质谱仪被一家石油公司购入，质谱仪从此进入了工农业生产领域。

20世纪50年代是质谱技术飞速发展的一个时代。特别值得一提的是，气相色谱和质谱联用技术的成功使质谱在复杂有机混合物分析方面占有独特的地位。

1990年以来，质谱学在各个方面都获得了极大的发展。质谱技术已经应用到了药物代谢分析、食品安全检验、地质勘探研究、高炉炉气分析、环境质量监测、汽轮机真空系统检漏、载人航天和刑侦技术等各个领域，有力地推动了社会的发展，改善了人们的生活。

随着科学技术的发展，有机物结构的测定方法经历了从经典的化学分析方法到现代仪器分析方法的发展历程。从最初只能分析结构简单的有机小分子，到现在可以分析蛋白质等有机大分子的结构，这些进步无不与仪器技术的发展密切相关。现代仪器分析方法不仅可以分析有机物结构，还可以用于研究有机反应历程，同时在实际生活中也有广泛的应用，如蔬菜中农药残留的分析、疾病的诊治和体育赛事中违禁药物的检测等。

有机化学反应的研究

设计并合成新的有机化合物是有机化学的重要研究内容。通过有机化学反应，科学家们已经成功合成大量具有特殊功能的有机化合物。在已颁发的诺贝尔化学奖中，有几十个获奖项目的研究内容涉及有机化合物的合成和有机化学反应的研究。有机化学反应需要什么条件、受哪些因素的影响、反应机理（reaction mechanism）^①如何等，这些都是科学家们研究的课题。研究有机反应，能够帮助我们更好地应用有机化合物，使有机化合物更好地造福人类。

温故知新

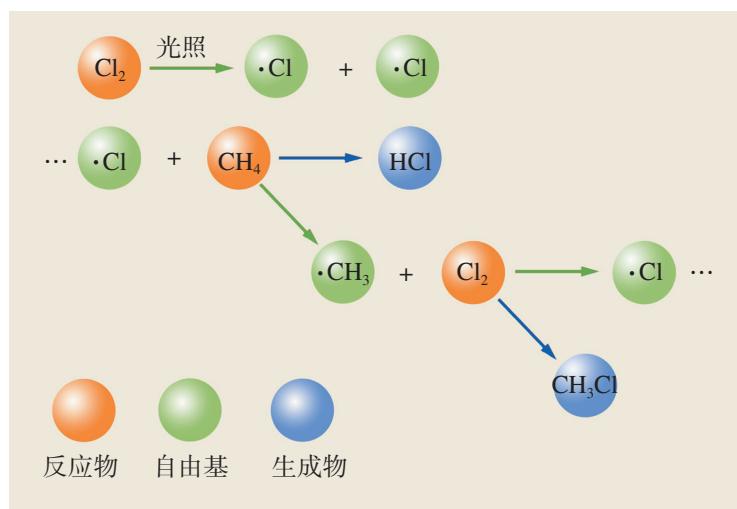
为什么甲烷和氯气混合后，在光照条件下会发生一系列的反应？

有机化学的反应机理揭示了反应中化学键因基团的相互作用而发生断裂形成新化学键。例如，甲烷与氯气在光照条件下发生的卤代反应是一个自由基型链反应。氯气分子在光照或加热条件下形成氯原子，即氯自由基（Cl·）；氯自由基与甲烷分子发生碰撞时，从甲烷分子中夺得1个氢原子，生成氯化氢分子，甲烷则转变为甲基自由基（CH₃·）；甲

^① 反应机理又称反应历程，指反应物转变为生成物所经历的过程。



基自由基与氯气分子发生碰撞时，从氯气分子中夺得1个氯原子，生成一氯甲烷分子，氯气分子转变为氯自由基($\cdot\text{Cl}$)……在甲烷的光氯代反应中，氯气每吸收1个光子，将会生成数千个氯甲烷分子。有机反应种类繁多，涉及不同的反应机理。研究反应机理，有助于我们更好地认识反应的实质，更恰当地运用有机反应。



批判性思维

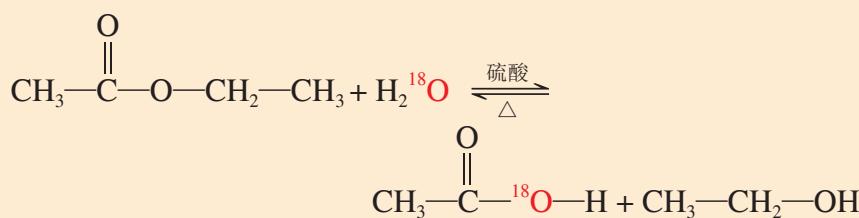
聚乙烯是生活中常用的一种塑料，如用于生产食品包装袋和餐盒等。早在20世纪30年代，有人发现了一种能引发乙烯分子间相互聚合的催化剂，该催化剂可形成含有一个未成对电子的自由基 $\text{R}\cdot$ 。你认为，反应过程中 $\text{R}\cdot$ 可能引发生哪些新的自由基？最终又是怎样形成聚乙烯的？

同位素示踪法(isotopic tracer method)是科学家经常使用的研究化学反应机理的手段之一。匈牙利化学家海维西(G. de Hevesy)因为在运用同位素示踪法研究化学反应机理方面贡献突出，获得了1943年诺贝尔化学奖。



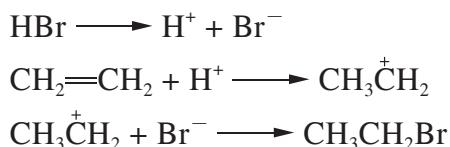
学以致用

将乙酸乙酯与 H_2^{18}O 混合后，加入硫酸作催化剂，乙酸乙酯在加热条件下将发生水解反应。下面是该反应的化学方程式：



1. 根据产物中¹⁸O的分布情况，你能判断出乙酸乙酯在发生水解时分子中的哪个共价键发生了断裂？
2. 请你说说用同位素示踪法研究化学反应时，运用了同位素的什么性质。
3. 你还知道其他可用同位素示踪法研究的化学反应吗？请查阅资料予以说明。

科学家们在研究反应机理时，通常需要借助于仪器这个强有力的分析手段。例如，乙烯与溴化氢之间发生加成反应，利用质谱仪可以检测出该反应过程中产生的中间体——乙基碳正离子（CH₃⁺CH₂），据此可推出该反应为离子型反应。首先是溴化氢电离生成氢离子（H⁺）和溴离子（Br⁻），产生的氢离子吸引碳碳双键中的一对电子，使这一对电子从碳碳之间转移到碳氢之间，这就形成了中间体CH₃⁺CH₂，CH₃⁺CH₂再通过静电作用和Br⁻结合生成CH₃CH₂Br。此反应的反应机理可表示如下：



批判性思维



烯烃的加成反应是很典型的一类有机化学反应，在有机化工生产中应用非常广泛。有人在做丙烯和溴化氢加成反应的实验时，发现生成物中有2-溴丙烷和1-溴丙烷两种同分异构体。请你解释这两种产物是怎样形成的。

理解应用

1. 下列关于有机化合物的说法正确的是（ ）
 A. 含碳元素的化合物一定都是有机化合物
 B. 有机化合物除含碳元素外，一定还含有氢元素
 C. 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
 D. 易溶于汽油、酒精、苯的物质一定是有机化合物
2. 某有机物在氧气中充分燃烧，生成等物质的量的水和二氧化碳。则该有机物的组成必须满足的条件是（ ）
 A. 分子中C、H、O的个数比为1：2：3



- B. 分子中C、H的个数比为1:2
- C. 该有机物的相对分子质量为14
- D. 分子中肯定不含氧元素

3. 某同学为测定维生素C中碳、氢的质量分数，取维生素C样品研碎，称取该试样0.352 g，置于铂舟并放入燃烧管中，不断通入氧气流。用酒精喷灯持续加热样品，将生成物先后通过浓硫酸和碱石灰，两者分别增重0.144 g和0.528 g，生成物完全被吸收。试回答以下问题。

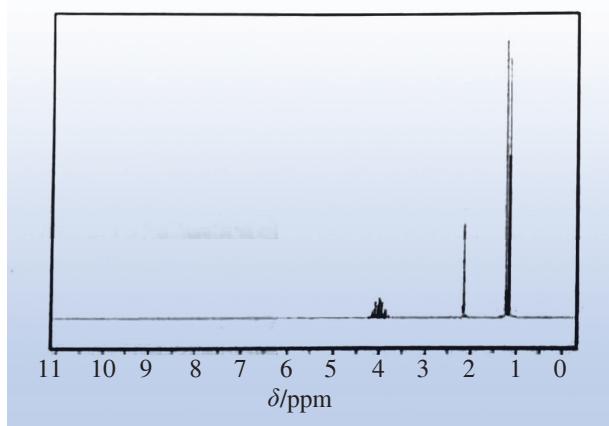
(1) 维生素C中碳的质量分数是_____，氢的质量分数是_____。(答案精确至0.01%)

(2) 维生素C中是否含有氧元素？为什么？

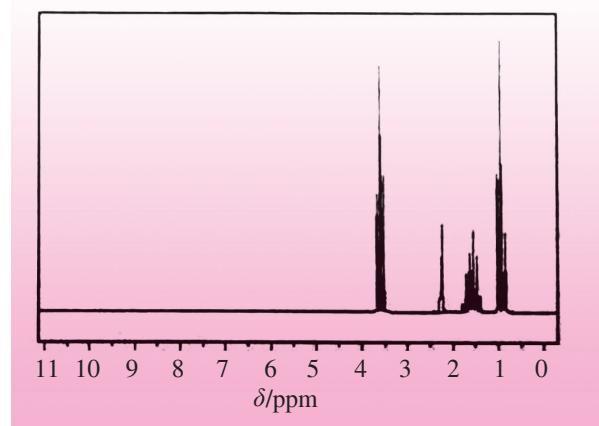
(3) 如果需要确定维生素C的分子式，还需要哪些信息？

4. 举例说明基团理论、同位素示踪法、现代物质结构分析方法在有机化学研究中的应用。

5. 下列两幅谱图是结构简式为 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ 和 $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$ 的两种有机化合物的 ^1H 核磁共振谱图。请判断哪一幅是 $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$ 的 $^1\text{H-NMR}$ 谱图，并说明理由。

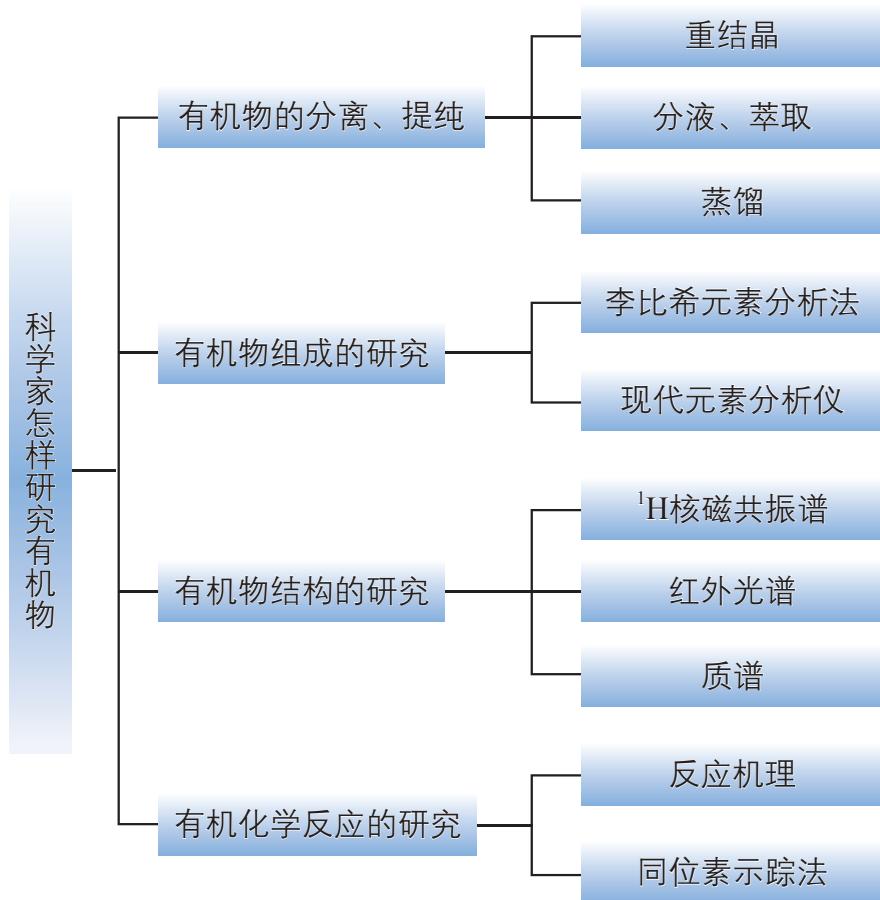
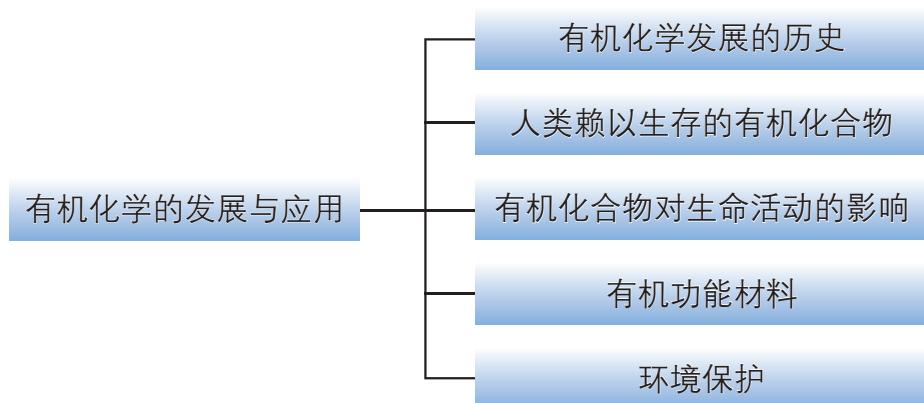


A



B

建构整合





回顾与总结



请参照下列问题或线索，回顾和总结本专题的学习内容。

- ✓ 为什么说有机化学的发展经历了漫长的过程？
- ✓ 以无机物为原料能否合成得到有机物？请举例说明。
- ✓ 为什么说现代社会对人工合成的有机物的依赖正在日益增长？
- ✓ 有机化合物与人类的生命活动有何关系？
- ✓ 举例说明有机化合物与材料科学发展的关系。
- ✓ 如何分离、提纯有机化合物？
- ✓ 举例说明研究有机化合物组成的常用方法。
- ✓ 举例说明有机化合物中常见的基团。
- ✓ 你知道哪些现代的测定有机物结构的分析方法？试举例说明。
- ✓ 化学方程式与反应机理的关系是什么？请举例说明。
- ✓ 简要描述甲烷在光照条件下发生氯代反应的机理。
- ✓ 举例说明同位素示踪法用于研究化学反应的历程。
- ✓ 举例说明研究有机化学反应的中间体有何意义。
- ✓ 学完本专题，你对有机化学的发展、应用和研究方法有哪些新的认识？

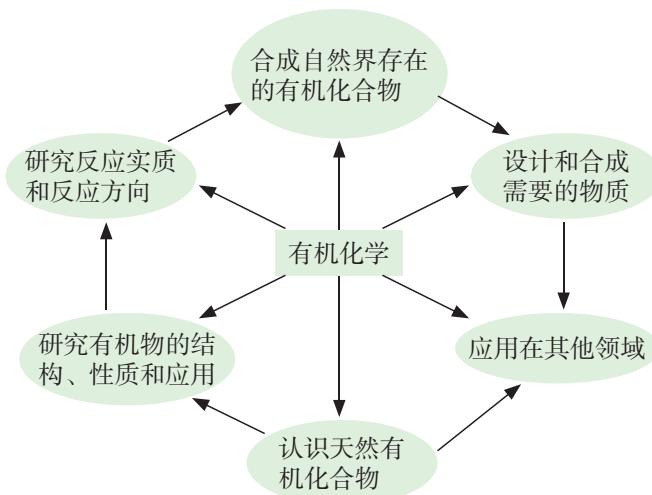


综合评价

1. 下列关于有机化合物的说法正确的是（ ）

- A. 人们生活中的有机化合物只能从自然界中的动植物获得
- B. 以氨基酸为原料合成具有生命活性的蛋白质使人类在认识生命的进程中迈出了一大步
- C. 我国古代的酿酒、制醋均属于由无机物转化为有机物的人工合成有机物技术
- D. 尼龙、涤纶、光导纤维都是有机合成纤维

2. 有机化学的应用覆盖了我们生产生活的方方面面，下列说法正确的是（ ）



A. 有机物都是从有机体中分离出的

B. 凡是含有碳元素的化合物都属于有机化合物

C. 有机化学是研究有机物的组成、结构、性质、制备方法与应用的科学

D. 有机化学萌发于16世纪，创立并成熟于17、18世纪

3. 某化合物6.4 g在氧气中充分燃烧，只生成8.8 g CO₂和7.2 g H₂O。下列说法正确的是（ ）

- A. 该化合物仅含碳、氢两种元素
- B. 该化合物中碳、氢原子个数比为1:4
- C. 无法确定该化合物是否含有氧元素
- D. 该化合物中碳、氧原子个数比为2:1

4. 1924年，我国药物学家发现麻黄素有平喘作用，于是从中药麻黄中提取麻黄素作为平喘药，这一度风靡世界。若将10 g麻黄素完全燃烧，可得26.67 g CO₂和8.18 g H₂O，同时测得麻黄素中含氮8.48 %和它的实验式为C_xH_yN_zO_w，则麻黄素的分子式为（ ）

- A. C₁₀H₁₅NO
- B. C₂₀H₃₀NO
- C. C₁₀H₁₅N₂O₃
- D. C₂₀H₃₀N₂O

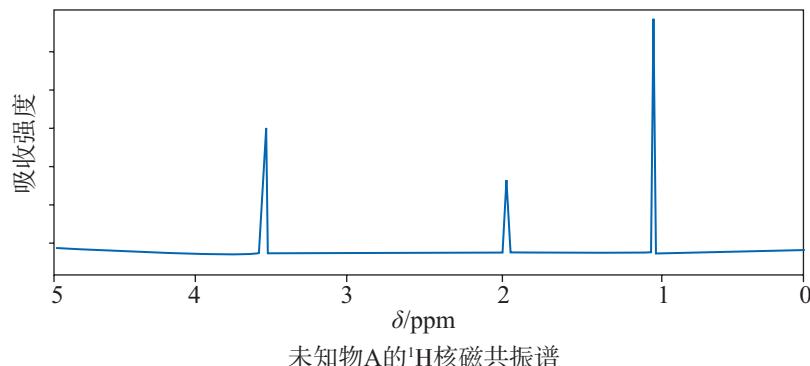
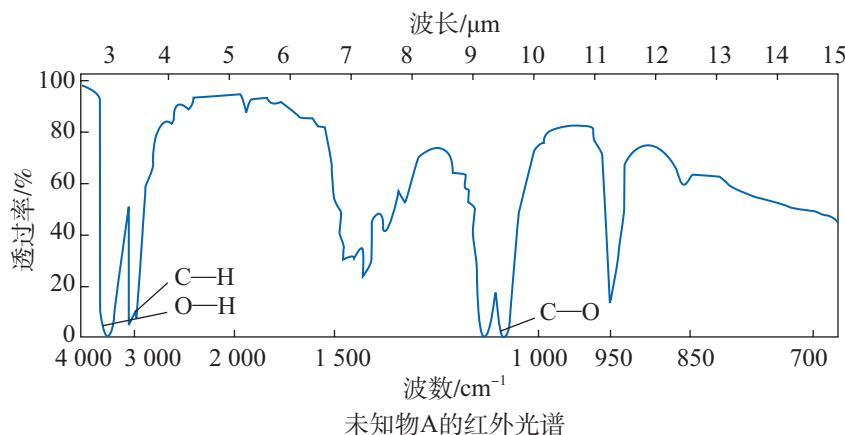


5. 2002年诺贝尔化学奖表彰了两项成果，其中一项是瑞士科学家库尔特·维特里希发明了“利用核磁共振技术测定溶液中生物大分子三维结构的方法”。下列有机物分子在¹H核磁共振谱中只给出一种信号的是（　　）

- A. HCHO B. CH₃OH C. HCOOH D. CH₃COOCH₃

6. 已知某有机物A的红外光谱和¹H核磁共振谱如下图所示，下列说法不正确的是（　　）

- A. 由红外光谱可知，该有机物中至少有三种不同的化学键
B. 由¹H核磁共振谱可知，该有机物分子中有三种不同化学环境的氢原子
C. 仅由¹H核磁共振谱无法得知其分子中的氢原子总数
D. 若A的化学式为C₂H₆O，则其结构简式为CH₃—O—CH₃



7. 丙烷与氯气在光照条件下发生取代反应，得到的一氯代物的结构简式为_____。

8. 某有机化合物仅由碳、氢、氧三种元素组成，经测定其相对分子质量为90。取该有机化合物样品1.8 g，在纯氧中完全燃烧，将产物先后通过浓硫酸和碱石灰，两者分别增重1.08 g和2.64 g。试求该有机化合物的分子式。

9. 查阅有关资料，了解因研究有机化学而获得诺贝尔化学奖的某一位科学家的生平及其所作出的贡献。将你查阅到的资料与同学们交流，并将自己的感受写成一份报告。

专题 2

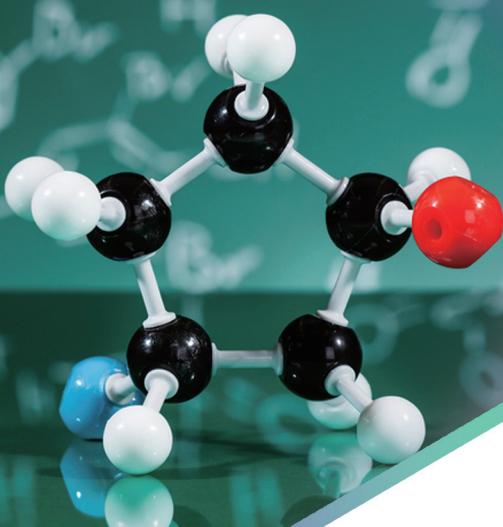
有机物的结构 与分类

有机化合物的结构

有机化合物的分类和命名



有机化合物的性质与其结构有着密切的联系。了解原子间的成键方式、连接顺序和空间排布对研究有机化合物的性质十分重要。为了便于研究有机化合物的结构和性质，需要建立一套完整的有机化合物命名原则来区分每一种有机化合物。本专题将重点介绍有机化合物结构的表示方法和同分异构现象，以及有机化合物的常用分类方法和系统命名法。





第一单元 有机化合物的结构

组成有机化合物的元素主要有碳、氢、氧、氮、硫等。有机化合物分子有些仅包含几个原子，而有些却包含成千上万个原子。组成上的差别是造成有机化合物性质差异的重要因素之一。人们还发现，有些分子组成存在差异的有机化合物，它们的性质却较为相似；有些分子组成完全相同的物质，它们的性质却有明显的差异。研究表明，上述情况的产生与有机化合物的结构密切相关。



目标预览

通过本单元内容的学习，要求同学们努力达到：

理解有机物中碳原子的成键特点；学会用结构式、结构简式与键线式等方法来表示有机物的分子结构；认识同分异构现象，能对有机物同分异构体进行分类；识别并运用不同的有机物分子结构的表征方式，能从共价键的角度分析结构特征。



有机物中碳原子的成键特点



温故知新

碳原子之间形成共价键时，其连接方式有何特点？这与碳原子的最外层电子有何联系？

有机化合物都含有碳元素，碳原子通过共价键结合形成的碳链或碳环构成了绝大多数有机化合物的基本骨架。在有机化合物分子中，碳原子总是形成4个共价键，碳原子之间可以形成碳碳单键（C—C）、碳碳双键（C=C）和碳碳三键（C≡C）等，碳原子与氢原子之间只能形成碳氢单键（C—H），碳原子与氧原子之间则可以形成碳氧单键（C—O）或碳氧双键（C=O）。



科学史话

有机化合物的立体结构

19世纪中叶，人们对有机化合物的结构认识一直停留在二

维空间。随着有机合成技术和分析技术的发展，大量同分异构体被合成和发现，依据原有的二维结构无法解释的事实逐渐增多，人们对有机化合物结构的认识才逐步深入。例如，若分子在一个平面上，二氯甲烷中两个氢原子和两个氯原子排列关系不同，可以有两个同分异构体，但是人们始终只能合成得到一种二氯甲烷。

为了解释这个问题，1874年，年仅22岁的荷兰化学家范特霍夫（J. H. van't Hoff）提出了碳原子成键的新解释。他用正四面体模型表示碳原子，如图2-1所示。

碳原子的四面体模型成功地解释了许多以前无法解释的现象。范特霍夫提出对有机化合物结构的三维认识，开辟了立体化学研究领域。就在范特霍夫发表上述观点后不到两个月，法国化学家勒贝尔（J. A. Le Bel）用其他推理方法得到了相同的结论，这表明科学发现有其可遵循的规律。

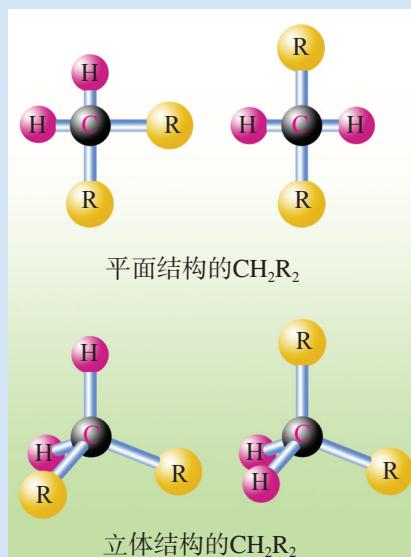


图 2-1 CH_2R_2 ^①立体模型的建构

有机化合物的三维空间结构学说不仅成功解释了一系列事实，让人们彻底放弃了早期认为的“有机物分子中的原子均处于同一平面”的观点，还为有机化合物的立体异构现象的研究奠定了理论基础。

交流讨论

结合已经学过的知识对下列问题展开讨论。

1. 请搭建甲烷、乙烯和乙炔的分子结构模型，并填写表2-1。

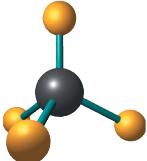
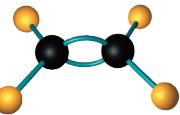
表 2-1 甲烷、乙烯和乙炔分子的组成、结构和空间构型

有机物	甲烷	乙烯	乙炔
分子式			
结构式			

① R代表烃基，若存在多个烃基，烃基的种类不一定相同。



续表

有机物	甲烷	乙烯	乙炔
球棍模型			
空间填充模型			
分子的空间结构			

2. 我们已经认识的有机化合物中，有些含有氧元素。你能写出乙醇和乙酸的结构式吗？

3. 研究发现，有机化合物分子的空间结构与碳原子的成键方式关系密切。你能归纳出其中的规律吗？请与同学交流你总结的规律。

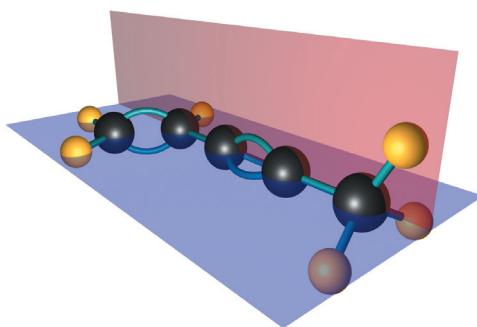


图 2-2 有机物中碳原子的成键取向

研究表明，当1个碳原子与其他4个原子连接时，这个碳原子将采取四面体取向与之成键。当碳原子之间或碳原子与其他原子之间形成双键时，形成该双键的原子以及与之直接相连的原子处于同一平面上。当碳原子之间或碳原子与其他原子之间形成三键时，形成该三键的原子以及与之直接相连的原子处于同一直线上。在烃分子中，仅以单键方式成键的碳原子称为**饱和碳原子**，以双键或三键等方式成键的碳原子称为**不饱和碳原子**。



拓展视野

杂化轨道理论与有机化合物的空间结构

甲烷分子中，碳原子2s轨道的一个电子跃迁到2p轨道中，并与2p轨道混杂形成4个sp³杂化轨道。为了使杂化轨道相互间的排斥最小，4个sp³杂化轨道彼此尽可能远离，分别指向正四面体的四个顶点（如图2-3）。

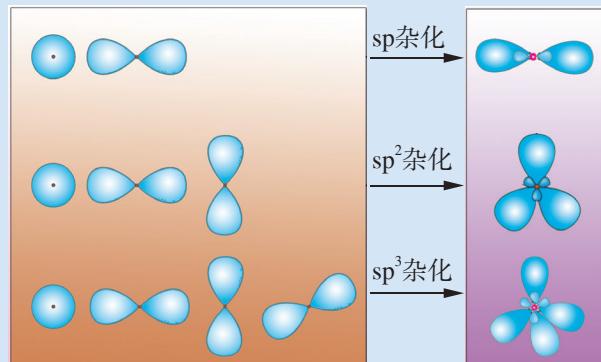


图 2-3 碳原子的几种杂化轨道形状示意图

每个 sp^3 杂化轨道上有一个未成对的电子，与氢原子1s轨道沿轨道对称轴方向重叠成键，形成四个等同的C—H共价键。我们把这种沿轨道对称轴方向重叠形成的共价键叫 σ 键，形成 σ 键时电子云达到了最大的重叠程度， σ 键比较牢固并且能围绕对称轴自由旋转。我们把p轨道沿对称轴平行的方向重叠形成的共价键叫 π 键，形成 π 键时，电子云重叠程度比 σ 键小，故 π 键的稳定性比 σ 键差。

碳原子在成键时还可能采用sp杂化或 sp^2 杂化方式。杂化方式不同，所形成分子的空间结构也不同。表2-2列出了几种简单有机物分子中碳原子轨道的杂化方式和分子的空间结构。

表 2-2 几种简单有机物分子中碳原子轨道的杂化方式

有机物分子	CH_4	$\text{CH}_2=\text{CH}_2$	$\text{CH}\equiv\text{CH}$	C_6H_6
碳原子轨道的杂化方式	sp^3	sp^2	sp	sp^2
分子的空间结构	正四面体	平面	直线	平面

通常情况下，碳原子与其他原子之间形成的单键都是 σ 键；碳原子与其他原子之间形成的双键中，一个价键是 σ 键，另一个是 π 键；碳原子与其他原子之间形成的三键中，一个价键是 σ 键，其余两个是 π 键。苯分子中的化学键较为特殊，碳原子与氢原子之间形成 σ 键，而在碳原子与碳原子之间除了形成一个 σ 键以外，六个碳原子还共同形成一个环状的大 π 键。

有机物结构的表示方法

有机化合物的分子式能够直观地反映出有机化合物分子的组成，但是它不能表示这些原子之间的连接情况。了解分子中原子相互连接的情况，对我们研究有机化合物的性质十



分重要。在有机化学中，常用结构式(structural formula)、结构简式(condensed structural formula)以及键线式(bond-line formula)来表示有机化合物分子的结构。



交流讨论

表2-3列出了一些有机化合物的结构式、结构简式和键线式，请和同学讨论这些表示有机化合物分子结构的方法各有哪些优缺点。

表 2-3 一些有机化合物的结构式、结构简式和键线式

物质名称 分子式	结构式	结构简式	键线式
戊烷 C_5H_{12}	<pre> H H H H H H—C—C—C—C—C—H H H H H </pre>	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_3$ 或 $CH_3(CH_2)_3CH_3$	
丙烯 C_3H_6	<pre> H H H H—C—C=C—H H H </pre>	$CH_3—CH=CH_2$ 或 $CH_3CH=CH_2$	
乙醇 C_2H_6O	<pre> H H H—C—C—O—H H H </pre>	$CH_3—CH_2—OH$ 或 CH_3CH_2OH	
乙酸 $C_2H_4O_2$	<pre> H O H—C—C—O—H H H </pre>	$CH_3—C(=O)—OH$ 或 $CH_3—COOH$ 或 CH_3COOH	

与有机化合物的分子式相比，结构式能完整地表示出有机化合物分子中每个原子的成键情况。对于结构比较复杂的分子，通常选用结构简式或键线式表示更为方便。



方法导引

书写结构简式的注意点

- 表示原子间形成单键的“—”可以省略。如乙烷结构式中 $C—H$ 、 $C—C$ 中的“—”均可省略，其结构简式可写为 CH_3CH_3 等。

2. “C=C” 和 “C≡C” 中的 “=” 和 “≡” 不能省略。
如乙烯的结构简式可写为CH₂=CH₂、H₂C=CH₂等，而不能写
为CH₂CH₂。醛基 (—C=H) 、羧基 (—C—OH) 则可进一步
简写为—CHO、—COOH。

3. 准确表示分子中原子的成键情况。如乙醇的结构简式可
写为CH₃CH₂OH或HO—CH₂CH₃等。

键线式无须标出碳原子和氢原子，只要求表示出碳碳键以及与碳原子相连的除氢以外的其他原子或基团，图式中的每个拐点和端点均表示一个碳原子（见表2-3）。

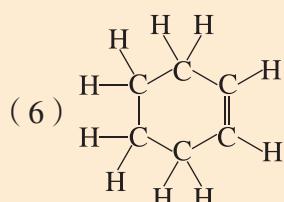
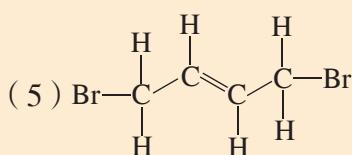
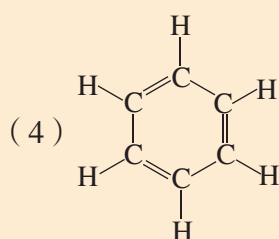
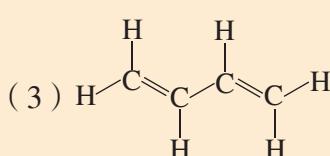
学以致用



结构式、结构简式和键线式是表示有机化合物分子结构的三种常见图式。你能写出下列有机化合物的结构简式和键线式吗？

(1) 丙烷

(2) 丙酸



同分异构体

何为同分异构现象？为什么有机化合物中普遍存在同分异构现象？

温故知新





有机化合物分子中通常含有较多的原子，这些原子在成键方式、连接顺序等方面，如果存在差异，就会出现分子式相同而结构不同的**同分异构现象**（isomerism）。分子式相同而结构不同的化合物分子互为**同分异构体**（isomer）。同分异构现象普遍存在于有机化合物中，这也是有机化合物在自然界中种类繁多的一个原因。



实验探究

在前面的学习中，我们已经认识了一些同分异构体。请完成探究活动并回答相关问题。

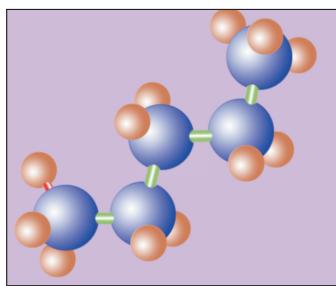
探究活动：请搭建下列分子组成的有机化合物结构模型，并填写下表，帮助自己更好地认识分子中原子的空间位置关系，进一步加深对同分异构体的认识。

分子式	可能具有的结构简式
C ₂ H ₆	
C ₃ H ₈	
C ₄ H ₁₀	
C ₅ H ₁₂	
C ₄ H ₈	

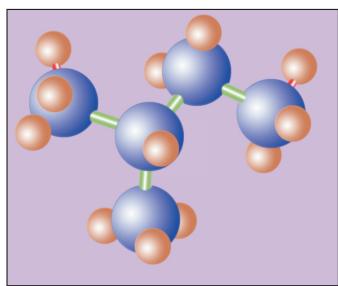
相关问题：

- (1) 产生同分异构现象的本质原因是什么？
- (2) 有机化合物中是不是每种分子都具有同分异构体？

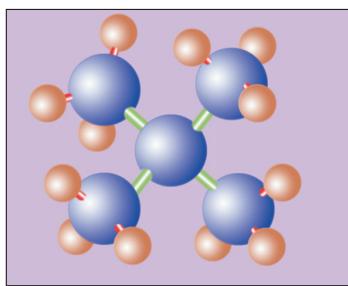
由于碳链骨架不同产生的异构现象叫做**碳链异构**，烷烃中的同分异构现象均为碳链异构，比如戊烷（C₅H₁₂）存在正戊烷、异戊烷和新戊烷^①三种同分异构体，它们都属于碳链异构。同分异构体虽然具有相同的分子组成，但性质却存在差异，其本质原因是它们具有不同的结构。如图2-4所示，三种戊烷的沸点各不相同。



正戊烷（沸点36.1℃）



异戊烷（沸点27.9℃）



新戊烷（沸点9.5℃）

图 2-4 戊烷的三种同分异构体结构模型

① 本节中同分异构体的命名方法请参见本书第43页。



方法导引

随着烷烃分子中碳原子个数的增加，同分异构体的数目会迅速增多。如7个碳的烷烃有9种异构体，8个碳的烷烃有18种异构体。如何正确、快速地写出同分异构体？下面介绍一种通常使用的方法。

第一步，写出直链异构体的结构简式；

第二步，在直链上减少1个碳作甲基取代基，其余为主链（甲基连在主链上，端点碳除外）；

第三步，再减少2个碳为2个甲基或1个乙基取代基，连在剩余碳形成的主链上，乙基至少连在离端点碳相隔1个碳的碳原子上；

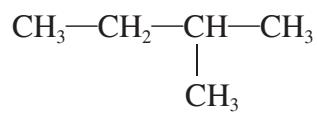
第四步，依次减少直链异构体上的碳原子作为取代基（主链始终为最长碳链）。

以此类推，进行书写。

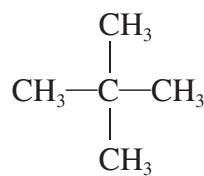
根据上述书写方法，可以写出 C_5H_{12} 的三种同分异构体的结构简式：



正戊烷

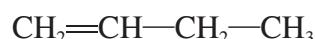


异戊烷

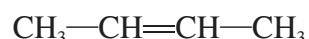


新戊烷

不同于烷烃，烯烃中含有官能团（C=C），当官能团（C=C）位置改变时，也会产生同分异构现象。如丁烯（ C_4H_8 ）分子含有碳碳双键，双键在碳链中的位置存在以下两种情况：



1-丁烯



2-丁烯

有机化合物中由于官能团在碳链中的位置不同而引起的同分异构现象称作**位置异构**。

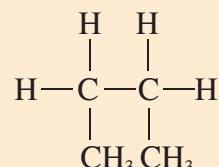
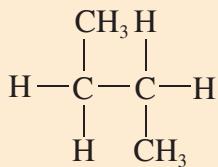
学以致用



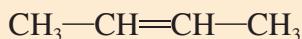
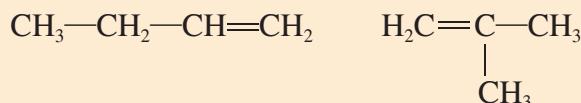
请仔细观察下面两组有机物的分子结构，它们是同分异构体吗？为什么？请与同学交流你的想法。



第一组 分子式为 C_4H_{10} 的烷烃：

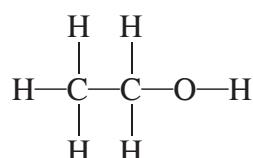


第二组 分子式为C₄H₈的烯烃：

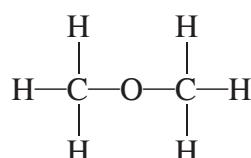


烯烃的同分异构现象较烷烃复杂，在书写烯烃的同分异构体时，应首先确定主链碳原子个数，然后确定官能团（C=C）在主链上的位置实现位置异构，最后再分别接入支链实现碳链异构。在完成一种主链的全部异构体后，减少主链碳原子个数并重复上述操作。

有机化合物中，除了存在因官能团位置不同而产生位置异构外，还会存在下述同分异构现象，比如乙醇和二甲醚的分子式都为 C_2H_6O ，但乙醇分子中的官能团为羟基（—OH），二甲醚分子中的官能团为醚键（ $\text{C}=\text{O}=\text{C}$ ）。



乙醇



二甲醚

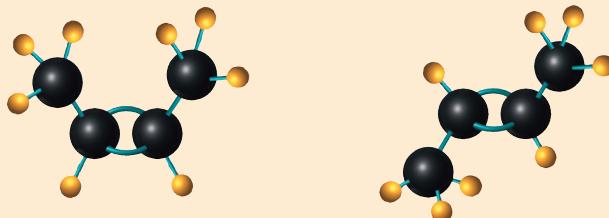
我们把有机化合物分子式相同，但分子中所含官能团不同产生的异构现象称为官能团异构。

碳链异构、位置异构和官能团异构是有机化合物中常见的异构现象，我们把这种分子式相同而分子中原子或基团连接方式不同的异构现象称为**构造异构**。



交流讨论

有人在研究2-丁烯的分子结构时，发现有2种熔点不同的物质，用球棍模型组装分子，得到下面两种结果：



请你思考，上面这两种分子结构相同吗？与同学交流你的想法。

上面两种分子结构模型所代表的2-丁烯具有不同的结构。在有机化学中，我们把分子式相同、原子或基团连接的顺序相同，但分子中所含原子或基团在空间的排列方式不同产生的异构现象称为**立体异构**。

立体异构可分为顺反异构和对映异构。图2-5是2-丁烯的顺反异构体，其中甲基在双键同一侧的，称为顺式，甲基在双键两侧的，称为反式。

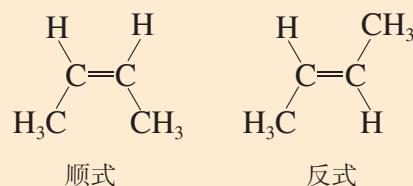


图 2-5 2-丁烯的顺反异构体

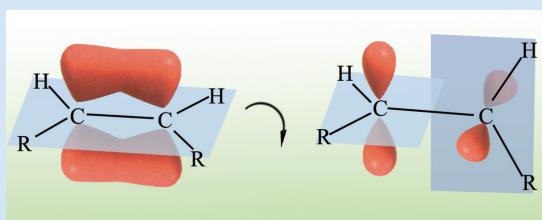


拓展视野

碳碳双键的特点

原子之间通过电子云的重叠可以形成共价键。在碳碳单键中，电子云的重叠出现在成键原子核的连线上。当成键碳原子沿成键方向发生相对旋转时，成键碳原子间的电子云重叠程度不发生变化，该单键不会断裂。

在碳碳双键中，除了在两个成键碳原子原子核的连线上出现电子云重叠形成一个 σ 键外，在这两个碳原子以及与这两个碳原子相连的4个原子所处平面的上方和下方也会出现电子云的重叠，形成 π 共价键。当两个碳原子沿成键方向发生相对旋转时（如图2-6）， σ 键的电子云重叠程度不发生变化，该共价键不会断裂，而 π 键的重叠程度减少甚至不再重叠，这个共价键就会断裂。

图 2-6 双键相对旋转时 π 键会断裂

顺反异构广泛存在于自然界和人类生活中。例如，天然的植物油中主要含顺式脂肪酸（简称CFA）。因顺式脂肪酸抗氧化能力差，稳定性不好，通常人们会对其进行氢化处理，在此过程中会生成一定量的反式脂肪酸（TFA）。常见的食物如人造奶油、黄油中就含有较多的反式脂肪酸。过多食用富含反式脂肪酸的食物易引发肥胖症和心脑血管疾病，饮食中应予以适当控制。



跨学科链接

顺反异构与生命活动

顺反异构与生命现象有着紧密的联系。某些昆虫的信息素分子中具有一个或多个碳碳双键，通常会存在顺反异构。有一种叫蚕蛾的热带蛾类，雌蛾会分泌出“蚕蛾醇”（如图2-7a）吸引同类雄蛾。蚕蛾醇有多种顺反异构体，图2-7中的b是其中的一种，它们中只有a能传递相关信息。

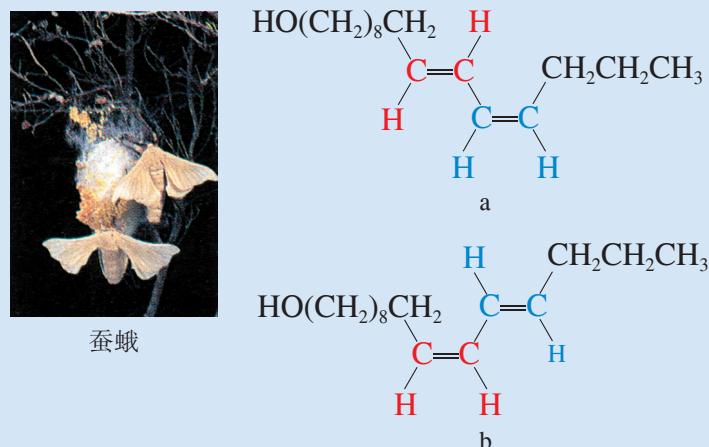


图 2-7 蚕蛾信息素及其同分异构体的结构

我们能在昏暗的光线下看见物体，离不开视网膜中一种叫“视黄醛”的有机化合物。顺式视黄醛吸收光线后，就转变为反式视黄醛（如图2-8），并且从所在蛋白质上脱离，这个过程产生的信号传递给大脑，我们就看见了物体。

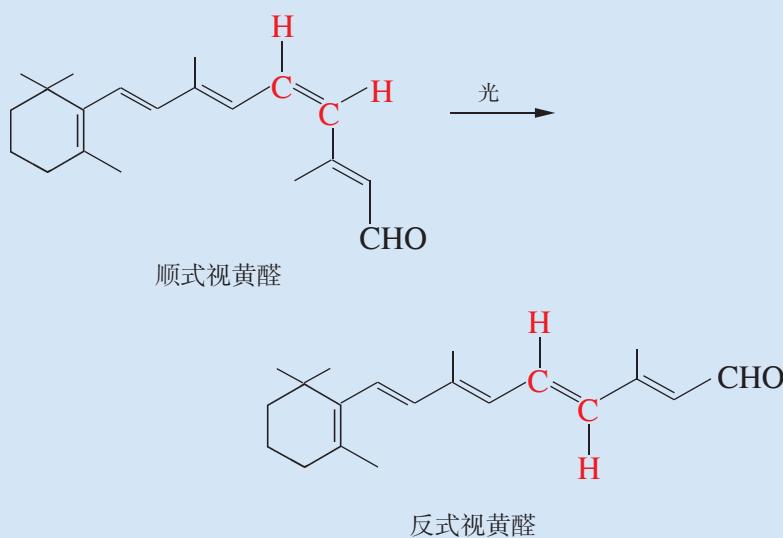
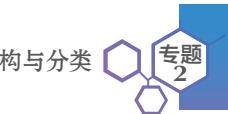


图 2-8 顺式、反式视黄醛的结构简式



批判性思维



我们知道，人的左右手看上去并无差别，但两只手无法完全重叠，一只手只有在镜像中才能与另一只手完全重叠。在化学物质的“海洋”中，是否也存在分子组成和原子连接方式完全相同的两种互为镜像的分子？请借用球棍模型进行分析和讨论。

科学家在研究有机化合物时发现，某些有机化合物组成相同，分子中原子连接顺序也相同，但两者像人的左手和右手的关系一样，互为镜像，彼此不能重合，这种同分异构现象称为对映异构（如图2-9）。例如，人们剧烈运动后糖类代谢出乳酸，而通过乳糖发酵也能得到乳酸，这两种不同途径得到的乳酸分子互为镜像，且不能重叠，是对映异构关系（如图2-10）^①。我们把两个互为镜像且不能重叠的异构体称为对映异构体（enantiomer）。

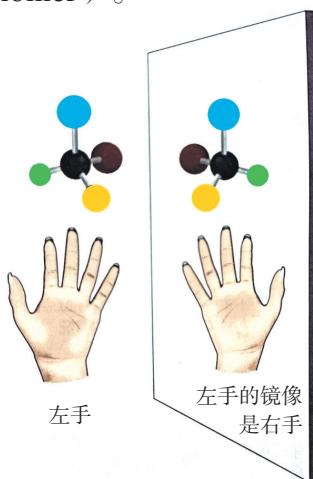


图 2-9 互为镜像的一对对映体

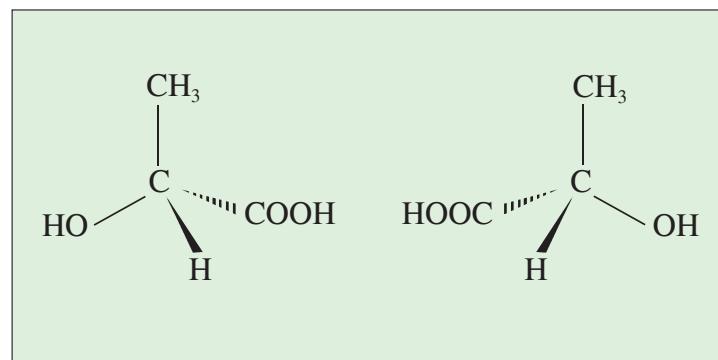


图 2-10 乳酸的两种对映异构体



拓展视野

手性分子

研究发现，在丙氨酸（ $\text{CH}_3\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$ ）分子中有1个碳原

子分别连有4个不同的原子或原子团（—H、—CH₃、—NH₂、

^① 表示乳酸分子空间结构的图示为楔形式。该图中，“—”表示成键的两个原子都在纸面内；“\”表示成键的两个原子一个在纸面内，另一个在纸面上方；“····”表示成键的两个原子一个在纸面内，另一个在纸面下方。



—COOH），当这4个原子或原子团以不同的空间排列方式与该碳原子相连时，就会得到如图2-11所示的两种分子，分别命名为D-丙氨酸和L-丙氨酸。这两种分子犹如人的左右手，它们互为镜像且不能重叠。我们把像D-丙氨酸和L-丙氨酸分子这样，分子不能与其镜像重叠者，称为手性分子（chiral molecule）；与4个不同的原子或原子团相连的碳原子称为手性碳原子（chiral carbon atom）。

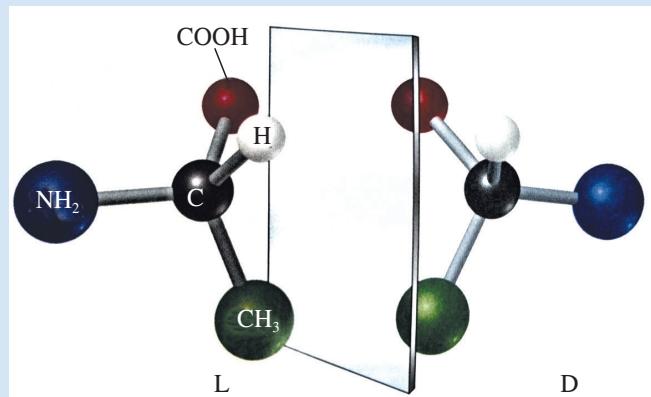


图 2-11 手性分子丙氨酸的结构模型

这些物质还具有神奇的光学特性。当一束偏振光通过它们时，光的偏振方向将被旋转，被旋转的角度称为旋光度。L-丙氨酸可使偏振光向右旋转，D-丙氨酸则可使偏振光向左旋转。

生命体对手性分子也有着神奇的识别能力。很多化学药物存在互为镜像的异构体，有时会出现其中一种异构体药效好，而另一种异构体无药效，甚至对人体可能有害。



调查研究

20世纪60年代，欧洲广泛给妊娠妇女服用镇静剂“反应停”作为阻止女性怀孕早期呕吐的止吐药，不少孕妇在服用这种药物后，生出了先天畸形儿。后来科学家研究发现，“反应停”是一种“左右手”各半的混合物，它的一种对映异构体有镇静作用，但另一种对映异构体对胚胎有很强的致畸作用。

请查阅文献了解药物制备中分离对映异构体的重要性。



拓展视野

不对称合成

对映异构现象在天然物质中广为存在。由于这些异构体与普通化合物反应时表现出相同的性质，在很长一段时间里，人们不能有效地合成所需要的对映异构体，只能先合成包含所需化合物的混合物，再从得到的混合物中分离出所需物质，这样既浪费了资源，又破坏了环境。直到美国科学家诺尔斯（W. S. Knowles）、日本科学家野依良治（Ryoji Noyori）和美国科学家夏普莱斯（K. B. Sharpless）实现了对映异构体的不对称合成，才使合成得到的有机化合物几乎都是所需要的对映异构体，他们因此获得了2001年诺贝尔化学奖。不对称合成方法的发现，改变了手性分子的合成方法，促进了化学学科的发展，给制药和化工行业带来了巨大的影响和良好的经济效益。



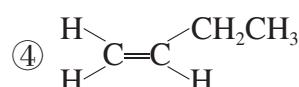
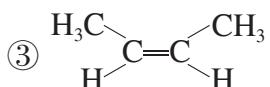
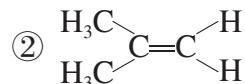
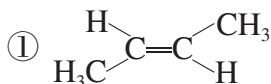
理解应用

1. 填表。

结构式	结构简式	键线式
<pre> H O H H H—C—C—O—C—C—H H H </pre>		
<pre> H H H O H—C—C—C—C—H H H </pre>		
<pre> H H—C—C—C=C—H H H </pre>		



2. 下列几种结构简式中，互为顺反异构体的是（ ）



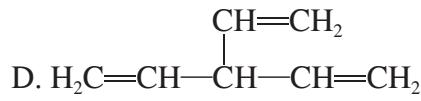
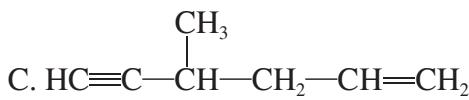
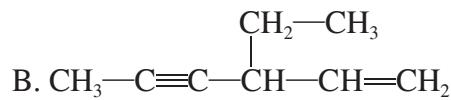
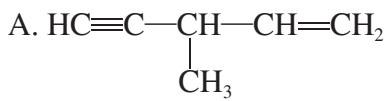
A. ①②

B. ③④

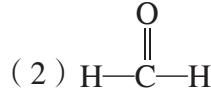
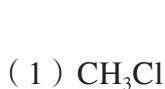
C. ②③

D. ①③

3. 在有机物分子中，若某个碳原子连接4个不同的原子或基团，则这种碳原子称为手性碳原子。下列有机化合物中，含有手性碳原子，且与足量H₂发生加成反应后仍含有手性碳原子的是（ ）



4. 请说明下列有机化合物分子中原子的空间分布情况。



5. 下列分子式表示的物质，哪些有同分异构现象？如有，请写出它们的同分异构体。



6. 某烷烃的相对分子质量为86，它共有5种同分异构体，写出这5种同分异构体的结构简式和键线式。



第二单元 有机化合物的分类和命名

人类目前认识的有机化合物数量巨大，并且每年还在以数百万种的速度增加。按照一定的标准对数目众多的有机化合物进行分类，是研究有机化学的重要途径。为便于认识和区分各种各样的有机化合物，我们还需要建立一套完整的有机化合物命名原则。



目标预览

通过本单元内容的学习，要求同学们努力达到：

了解有机化合物常见官能团的结构特征，理解同系物的概念，学会按官能团的类型对有机化合物进行分类，学会用习惯命名法和系统命名法对简单的有机化合物进行命名。



有机化合物的分类

有机化合物数目庞大，为便于系统地学习和研究，对有机化合物进行分类是非常必要的。科学的分类能使复杂的有机化合物知识系统化，有利于分析物质的共性和差异，加深对物质结构和性质的认识，为探索有机化合物之间的转化规律奠定基础。

交流讨论



- 分子式为 C_3H_8O 的有机化合物有几种同分异构体？写出它们的结构简式。
- 我们已经知道乙醇与乙酸在一定条件下能发生酯化反应。在 C_3H_8O 的异构体中，你认为哪些能发生酯化反应？它们与乙醇在结构上存在哪些共同点？
- 通过前面的学习，我们已经对乙醇和乙酸的性质有了些认识。表2-4列出了与乙醇、乙酸化学性质相似的部分有机化合物。请仔细观察这些有机化合物的结构简式，分析它们的结构，从中你能得到什么启示？



表 2-4 与乙醇、乙酸化学性质相似的部分有机化合物

与乙醇化学性质相似的部分有机化合物	与乙酸化学性质相似的部分有机化合物
$\text{CH}_3\text{CH}_2-\text{OH}$	CH_3-COOH
CH_3-OH	$\text{H}-\text{COOH}$
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{OH}$	$\text{CH}_3\text{CH}_2-\text{COOH}$
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{OH}$	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{COOH}$
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{OH}$	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{COOH}$
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{OH}$	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{COOH}$
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{OH}$	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{COOH}$

表2-4中列出的与乙醇化学性质相似的有机化合物均属于醇类，它们的分子中都含有羟基（—OH），可以简单地记为R—OH，醇类的化学性质与羟基密切相关。与乙酸化学性质相似的有机化合物属于羧酸（R—COOH），它们的化学性质与羧基（—COOH）密切相关。像醇分子中的羟基和羧酸分子中的羧基这样，反映一类有机化合物共同特性的原子或原子团叫做**官能团**（functional group）。

在分子组成上，表2-4中列出的与乙醇化学性质相似的有机化合物之间都相差一个或若干个“ CH_2 ”原子团，而与乙酸化学性质相似的有机化合物之间也都相差一个或若干个“ CH_2 ”原子团。我们把这些结构相似，分子组成相差一个或若干个“ CH_2 ”原子团的有机化合物互相称为**同系物**（homologue）。

表 2-5 有机化合物中常见的官能团

官能团符号	官能团名称	典型有机化合物	物质名称	所属类别
$>\text{C}=\text{C}<$	碳碳双键	$\text{CH}_2=\text{CH}_2$	乙烯	烯
$-\text{C}\equiv\text{C}-$	碳碳三键	$\text{CH}\equiv\text{CH}$	乙炔	炔
$\geqslant \text{C}-\text{X}$	碳卤键	$\text{CH}_3\text{CH}_2-\text{Cl}$	氯乙烷	卤代烃
$-\text{OH}$	羟基	$\text{CH}_3\text{CH}_2-\text{OH}$	乙醇	醇
		$\text{C}_6\text{H}_5-\text{OH}$	苯酚	酚
$\geqslant \text{C}-\text{O}-\text{C}\leqslant$	醚键	$\text{CH}_3\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2\text{CH}_3$	乙醚	醚
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{H} \end{array}$	醛基	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{H} \end{array}$	乙醛	醛
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}- \end{array}$	羰基	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{CH}_3 \end{array}$	丙酮	酮

续表

官能团符号	官能团名称	典型有机化合物	物质名称	所属类别
$\text{C}=\text{O}-\text{O}-$	酯基	$\text{CH}_3-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{C}_2\text{H}_5$	乙酸乙酯	酯
$\text{C}(=\text{O})-\text{OH}$	羧基	$\text{CH}_3-\text{C}(=\text{O})-\text{OH}$	乙酸	羧酸
$-\text{NH}_2$	氨基	CH_3-NH_2	甲胺	胺
$\text{C}(=\text{O})-\text{NH}-$	酰胺基	$\text{H}-\text{C}(=\text{O})-\text{NH}_2$	甲酰胺	酰胺

同系物具有相同的官能团，这是它们化学性质相似的本质原因。同系物还具有相同的通式（general formula），如链烷烃的通式为 $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ ，链状饱和一元羧酸的通式为 $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2$ 。

温故知新



对无机化合物进行分类，可以有不同的标准和视角。例如，根据物理性质的差异，可以分成固态、液态和气态，或易溶物、可溶物、微溶物、难溶物等。这些分类直观性强，但比较简单，难以解释物质的本质特征。从物质的组成、结构等相对微观的视角进行分类（如酸、碱、盐、氧化物等，离子晶体、共价晶体、分子晶体、金属晶体等），有助于人们更好地认识物质的性质及转化规律。

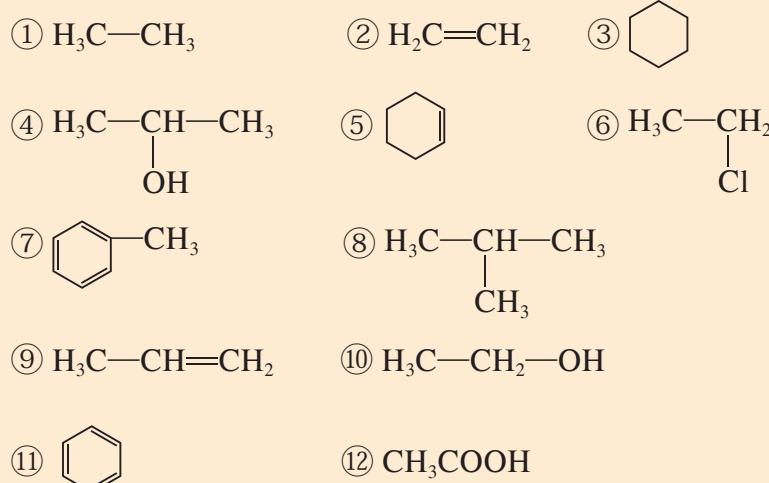
上述事例对确定有机化合物的分类标准，有什么启发？

根据官能团对有机化合物进行分类，是有机化学中常用的分类方法。用这种分类方法可以将烃分为烷烃、烯烃、炔烃和芳香烃等，将烃的衍生物分为卤代烃、醇、酚、醚、醛、酮、羧酸、酯、胺和酰胺等。

批判性思维



下面共有12种有机化合物，请你设想一个分类依据，将它们分为不同的类别，填入下表，并与同学交流你分类的理由。



分类依据	有机化合物

我们还可以从不同的角度对有机化合物进行分类。例如，把不含有苯环的有机化合物称为**脂肪族化合物**，把含有苯环的有机化合物称为**芳香族化合物**；根据有机化合物分子中的碳原子是连接成链状还是环状，把有机化合物分为**链状化合物**和**环状化合物**。



学科提炼

官能团的功用

官能团是各类有机化合物中最具特点的基团，官能团除了可以作为有机化合物分类的依据，还能提示物质具有哪些化学性质，通常发生哪些化学反应。如含有碳碳双键或碳碳三键官能团的有机化合物，容易发生加成反应和氧化反应。我们不但可以由有机化合物中所含的官能团来判断它们的化学性质，也可以由有机化合物的化学性质来推断它们含有的官能团。例如某烃类物质能使溴的四氯化碳溶液褪色，说明该烃分子中可能含有碳碳双键或碳碳三键。

因此，根据官能团对有机化合物进行分类，不仅能使繁杂的有机化学知识系统化，还能帮助我们加深对不同类的有机化合物结构与性质之间关系的认识，有助于人们探索有机化合物转化的条件以及转化所遵循的反应规律，使人类能够获得更多生活、生产和社会发展所需要的各种有机化合物。

有机化合物的命名

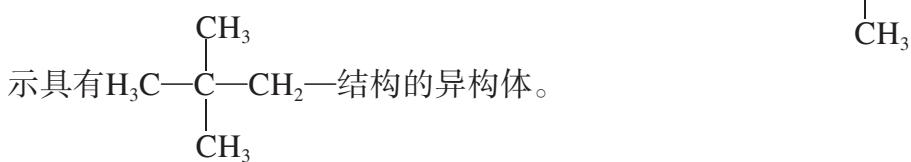
有机化合物的种类繁多，结构复杂。即使是具有相同分子组成的有机化合物，仍有可能存在多种异构体。因此，需要从有机化合物的组成和结构出发建立一套科学、完整的有机化合物命名原则，使有机化合物的名称能准确地反映该有机化合物的组成和结构。

调查研究

许多药品的有效成分是有机化合物，药品的说明书中一般会给出药品的商品名、通用名称以及药品主要成分的化学名、分子式和结构式等。请你选择一种药品，查阅它的说明书，并与同学交流你对药品名称的看法。

名称是有机化合物的重要标识之一。英文文献中经常使用的是IUPAC^①命名法，中文文献中通常采用系统命名法。名称较长的有机化合物一般使用俗名，一些常见的简单有机化合物亦可采用习惯命名法命名。

习惯命名法又称普通命名法，在命名简单有机化合物时比较方便。如对烷烃的命名，当分子中碳原子总数在10以内时，用天干——甲、乙、丙、丁、戊、己、庚、辛、壬、癸表示；大于10时，则用中文数字表示。同时，为了区分同分异构体，在名称的最前面加一些词头表示，如“正”表示直链烃，“异”表示具有H₃C—CH—结构的异构体，“新”表



一些烷烃的习惯命名如表2-6所示。

① International Union of Pure and Applied Chemistry, 国际纯粹与应用化学联合会。



表 2-6 一些烷烃的习惯命名

结构简式	名称	结构简式	名称	结构简式	名称
CH_4	甲烷	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$	正己烷	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9\text{CH}_3$	正十一烷
CH_3CH_3	乙烷	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}_3$	正庚烷	$(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_3$	异丁烷
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$	丙烷	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{CH}_3$	正辛烷	$(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{CH}_3$	异戊烷
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3$	正丁烷	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}_3$	正壬烷	$(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$	异己烷
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}_3$	正戊烷	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{CH}_3$	正癸烷	$(\text{CH}_3)_4\text{C}$	新戊烷

同理，对于简单的醇， $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ 命名为正丙醇， $(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}$ 命名为异丙醇， $(\text{CH}_3)_3\text{CCH}_2\text{OH}$ 命名为新戊醇等。



交流讨论

请同学们尝试用习惯命名法命名分子式为 C_6H_{14} 的所有同分异构体，并与同学交流。

对于碳原子数较多并含有支链的烷烃，用习惯命名法很难给出其名称，说明习惯命名法只适用于结构简单的有机物的命名。对有机化合物的命名国际上通用的是IUPAC命名法，中国化学会根据IUPAC命名法并结合中文特点，制定了《有机化合物命名原则》，该命名原则又称为系统命名法。

用系统命名法命名有机化合物的基本思路是：先将有机化合物分为母体和取代基两部分，再将取代基全部假想为氢原子以命名母体，然后确定取代基的名称和位置。命名的基本方法是以母体名称作为主体名，并按规定的要求注明取代基或官能团的数目和位次，得到有机化合物的名称。常见的取代基是一价基，即从有机物分子中去掉一个氢原子后剩余的原子团，如甲基（ $-\text{CH}_3$ ）、乙基（ $-\text{CH}_2\text{CH}_3$ ）等。

用系统命名法命名的有机化合物名称通常包括取代基位置、数目和名称以及母体的名称。

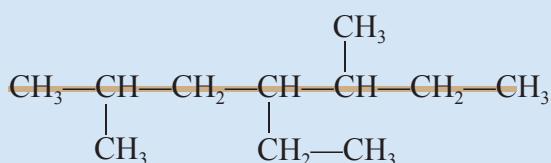


方法导引

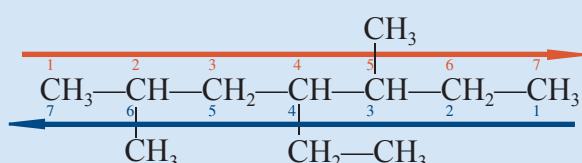
烷烃的系统命名法

通过下面的活动，我们将学习如何正确地用系统命名法命名烷烃。

1. 选母体。选择包含碳原子数最多的碳链作为主链，将支链视为氢原子，所得烷烃即为母体。在系统命名法中，直链烷烃采用天干或中文数字直接命名为某烷。例如，下图所示的烷烃中最长的碳链有7个碳原子，母体命名为庚烷。



2. 编序号。以靠近支链的一端为起点，将主链中的碳原子用阿拉伯数字编号，以确定支链的位置。例如，在上面的烷烃中，如果从左向右编号（下图红色箭头所示），取代基分别位于2位、4位和5位；如果从右向左编号（下图蓝色箭头所示），取代基分别位于3位、4位和6位。两者相比较，从左向右编号，最先出现取代基的是2位，比从右向左编号的3位小，因此应选择从左向右的顺序给碳链编号。

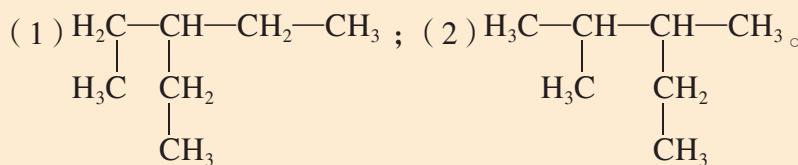


3. 写名称。在写名称时，需要使用短横线“-”、逗号“，”等符号把支链的位置、支链的名称以及母体的名称等联系在一起。阿拉伯数字与中文文字之间用“-”隔开，如“2-甲基丙烷”。当具有几个相同的支链时，则将这些支链合并表示，在支链名称前加上“二”“三”“四”等表示支链的个数；表示支链位置的阿拉伯数字之间则用逗号“，”间隔开，如“2,3-二甲基丁烷”。如果有有机化合物具有多种支链，则要按照命名原则所规定的“次序规则”，按取代基大小顺序先后列出支链。上面的烷烃应该命名为“2,5-二甲基-4-乙基庚烷”。



学以致用

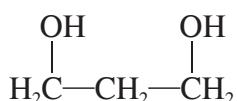
请根据示例，用系统命名法命名下列两种烷烃：



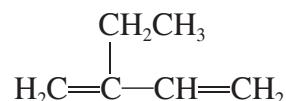
学好烷烃的命名是学习其他有机化合物命名的基础。在给其他有机化合物命名时，一般也需要经过选母体、编序号和写名称三个步骤。在选母体时，如果官能团中没有碳原子，则应选择包含与官能团相连接的碳原子的最长碳链作主链；如果官能团含有碳原子，则应选择含有官能团碳原子的最长碳链作主链。在编序号时，先保证官能团碳的位次最小，再尽可能使取代基的位次最小。下面是一些常见有机化合物及其系统名称。



1-丁烯



1,3-丙二醇

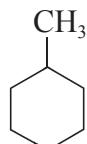


2-乙基-1,3-丁二烯

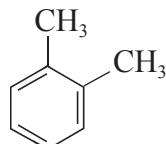
在命名环状化合物时，通常选择环作为母体。下面是几种常见的含有脂环或苯环的化合物的结构和名称。



环戊烷

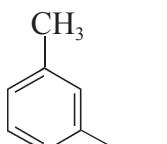


甲基环己烷



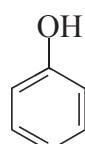
邻二甲苯

(1,2-二甲苯)



间二甲苯

(1,3-二甲苯)



对苯二酚

(1,4-苯二酚)

在一些复杂的有机化合物中，往往存在多种官能团，这些物质的命名较为烦琐，命名时需要遵循多条规则，命名的基本思路与前面介绍的命名原则基本一致。

理解应用

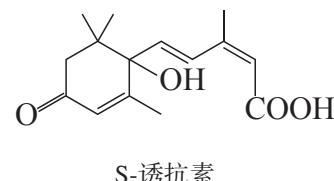
1. 下列叙述正确的是()

- A. 相对分子质量相同、结构不同的化合物一定互为同分异构体
- B. 含不同碳原子数的烷烃一定互为同系物
- C. 结构对称的烷烃，其一氯取代物必定只有一种
- D. 分子通式相同且组成上相差一个或几个 CH_2 原子团的物质互为同系物

2. S-诱抗素制剂有助于保持鲜花盛开，S-诱抗素的分子结构如下图，该分子含有的官能团有_____。

3. 写出下列物质的分子式。

- (1) 分子中含有5个碳原子的链状单炔烃。
- (2) 分子中含有18个氢原子的烷烃。
- (3) 分子中含有6个碳原子的单环烷烃。
- (4) 分子中含有7个碳原子的链状单烯烃。



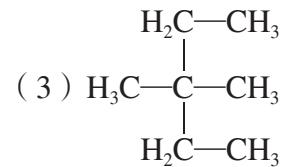
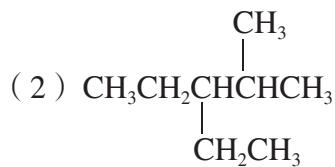
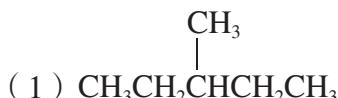
4. 下列各组中的两种有机化合物，可能是相同的物质、同系物或同分异构体等，请判断它们之间的关系，并说明理由。

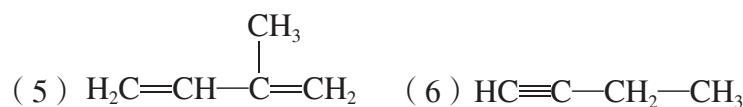
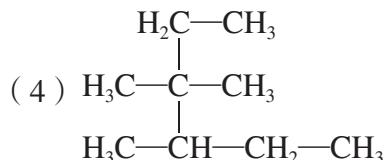
- (1) 2-甲基丁烷和丁烷。
- (2) 新戊烷和2,2-二甲基丙烷。
- (3) 乙醚和丁醇。
- (4) 1-己烯和环己烷。

5. 写出下列物质的结构简式。

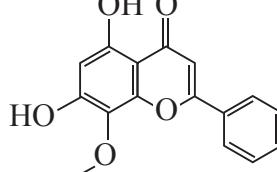
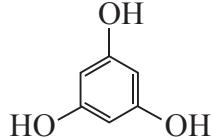
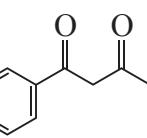
- (1) 2,3-二甲基戊烷。
- (2) 2-甲基-3-乙基戊烷。
- (3) 1,1,3-三甲基环己烷。
- (4) 3-甲基-2-戊烯。
- (5) 2,2-二甲基-3-乙基庚烷。
- (6) 2,3-二甲基-1-丁烯。

6. 用系统命名法给下列有机化合物命名。

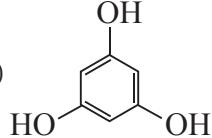


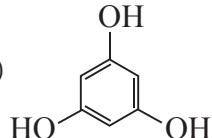


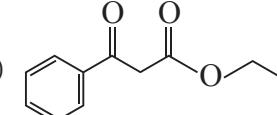
7. 用系统命名法给丁烷 (C_4H_{10})、戊烷 (C_5H_{12}) 的各种同分异构体命名。

8. 汉黄芩素 () 是从黄芩根中分离得到的一种化合物, 具有抗氧化、抗病毒等多种药理活性, 以  和  为原料可人工合成汉黄芩素。

(1) 汉黄芩素分子中含氧官能团的名称为_____。

(2)  分子中有_____种不同化学环境的氢原子。

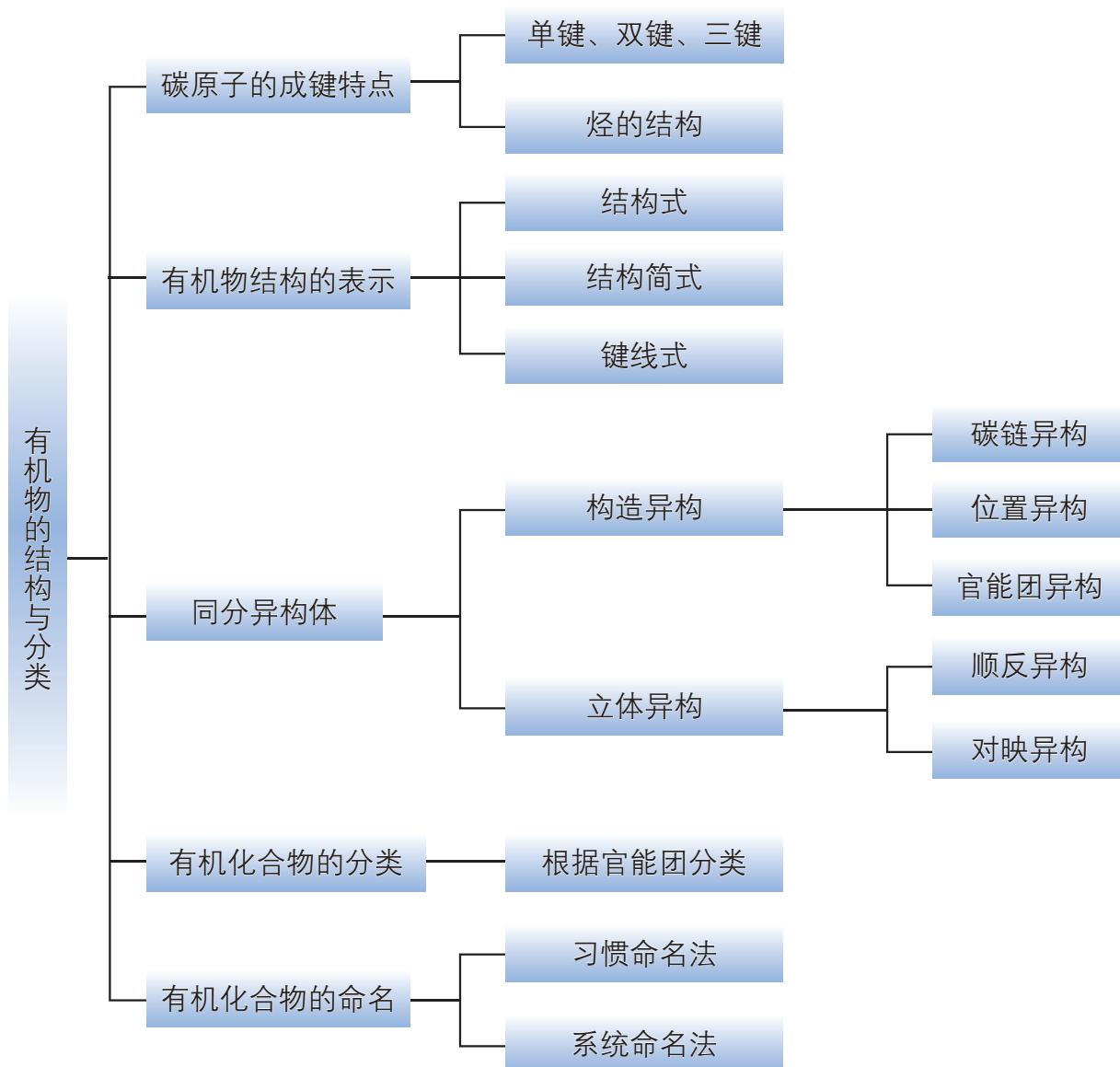
(3)  有多种同分异构体, 与其属于同一类别的同分异构体的结构简式为_____。

(4)  的一种同分异构体同时满足下列条件:

- ① 苯环上只有一个取代基;
- ② 有醛基和酯基, 水解后的产物中有酚羟基;
- ③ 分子中有5种不同化学环境的氢。

该同分异构体的结构简式为_____。

建构整合





回顾与总结



请参照下列问题或线索，回顾和总结本专题的学习内容。

- ✓ 在有机化合物中碳原子一般以哪类化学键跟其他原子结合？列表比较碳碳单键、碳碳双键、碳碳三键之间的差异。
- ✓ 有机化合物的空间结构与其分子内原子的成键方式是否存在联系？请举例说明。
- ✓ 请以几种你熟悉的有机化合物为例，分别用结构式、结构简式、键线式表示它们的结构。
- ✓ 书写有机化合物的结构简式时需要注意什么？
- ✓ 什么是同分异构现象？有机化合物分子都存在同分异构体吗？
- ✓ 常见的构造异构包含哪三类异构现象？试举例说明。
- ✓ 举例说明构造异构体的书写方法。
- ✓ 什么是顺反异构？请举例说明顺反异构与生命活动的关系。
- ✓ 什么是对映异构？请举例说明对映异构在药物制备中的重要应用。
- ✓ 如何选取有机化合物分类的标准？根据官能团可以将有机化合物分为哪些类别？
- ✓ 你能写出常见官能团的符号和典型代表物的名称、结构简式吗？
- ✓ 为什么要给有机化合物命名？常见有机化合物的习惯名称有哪些？
- ✓ 你会用系统命名法给简单有机化合物命名吗？
- ✓ 你知道哪些现代的测定有机物结构的分析方法？试举例说明。

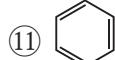
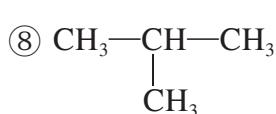
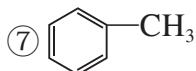
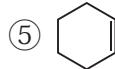
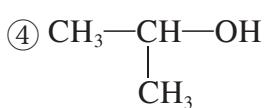
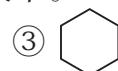


综合评价

1. 下列8种有机物：① $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ，② $\text{H}_3\text{C}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{OH}$ ，③ $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ，④ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br}$ ，
 ⑤ CCl_4 ，⑥ $\text{CH}_3\text{COOCH}_3$ ，⑦ $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$ ，⑧ CH_3COOH 。根据官能团种类的不同可分为（ ）

A. 4类 B. 5类 C. 6类 D. 7类

2. 从不同的角度，有机物可分为不同的类别。下面共有12种有机化合物，请你选取恰当的分类标准，将其分为不同的类别，并将序号填入下表中。



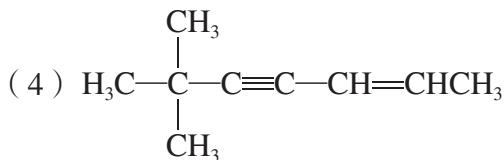
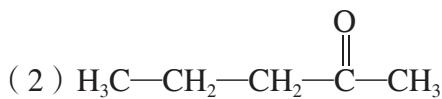
分类依据	有机化合物的序号



3. 填写下表中的空白。

结构简式	键线式	名称
$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CHCH}_2\text{CHCH}_3 \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array}$		
		3-甲基戊烷
		1,3-二甲苯
$\text{H}_3\text{C}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{CH}_3$		

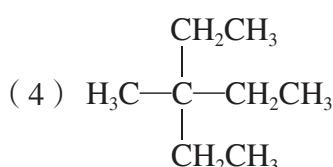
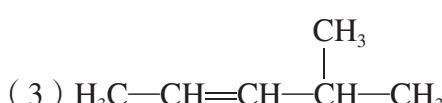
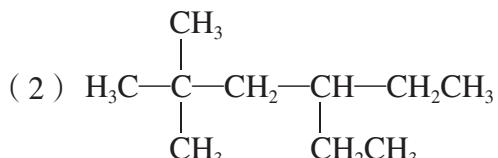
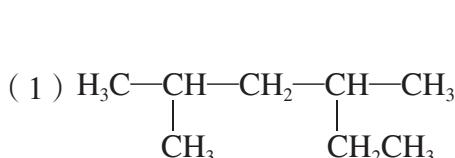
4. 请说明下列有机化合物分子中的所有碳原子是否能处于同一平面上。



5. 具有下列分子组成的物质，哪些具有同分异构体（不考虑立体异构）？分别写出这些有机化合物的结构简式。



6. 用系统命名法命名下列有机化合物。



7. 某链状单烯烃的分子中含有8个氢原子，写出其所有同分异构体的结构简式。

专题 3

石油化工的 基础物质——烃

脂肪烃的性质及应用

芳香烃



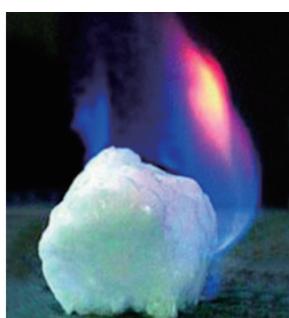
烃是一类非常重要的有机化合物，可以分为脂肪烃和芳香烃，它们与现代生活关系密切。脂肪烃是石油和天然气的主要成分，是近200年来人类工业革命的强有力的“推进剂”。同时，脂肪烃还是最为重要的有机合成原料，人们基于脂肪烃制备了一系列新的物质。芳香烃作为石油化工催化重整的产物，可用于制备合成树脂、合成橡胶、合成纤维、染料、医药和炸药等。本专题将重点介绍脂肪烃和芳香烃的主要化学性质、来源和用途。



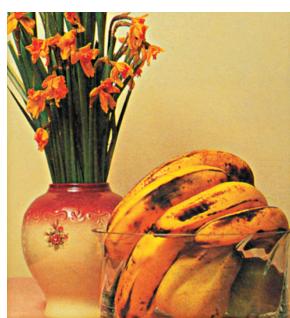


第一单元 脂肪烃的性质及应用

烃 (hydrocarbon) 是一类十分重要的有机化合物，可以分为脂肪烃和芳香烃（简称芳烃）。其中，属于脂肪族化合物的烃为脂肪烃，其分子中一定不含有苯环；属于芳香族化合物的烃为芳香烃，其分子中一定含有苯环。根据脂肪烃的结构，人们把含有碳碳双键或碳碳三键等不饱和键的脂肪烃称为不饱和脂肪烃，简称**不饱和烃** (unsaturated hydrocarbon)；把不含不饱和键的脂肪烃称为饱和脂肪烃，简称**饱和烃** (saturated hydrocarbon)。



甲烷的水合物“可燃冰”



香蕉成熟过程中释放出的乙烯使花凋谢



开采得到的石油中含有脂肪烃

图 3-1 自然界中的脂肪烃



目标预览

通过本单元内容的学习，要求同学们努力达到：

认识脂肪烃的结构与分类，能写出典型代表物的结构简式、名称，能通过实验等方法认识脂肪烃典型代表物的主要性质；能列举实例说明脂肪烃基本反应的具体应用；能从化学角度描述石油炼制的基本工艺，说明脂肪烃、芳香烃与石油化工的关系；能从绿色发展视角对石油化工工艺进行评估。



脂肪烃的性质



交流讨论

1. 请根据图3-2提供的信息与同学讨论以下问题。

(1) 烷烃的沸点与其分子中所含有的碳原子数之间有什么样的关系？

(2) 什么样的烷烃在常温、常压下为气态？

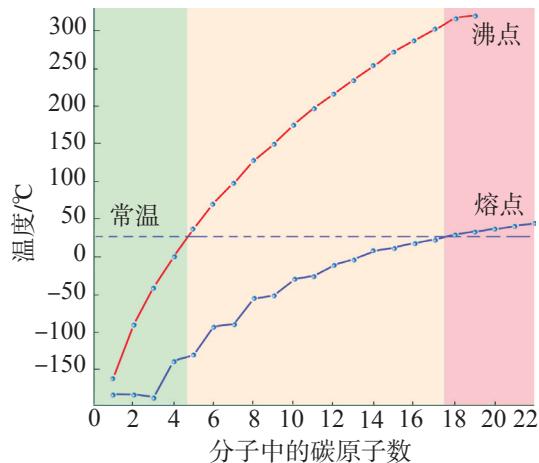


图 3-2 直链烷烃的熔点和沸点

2. 请查阅有关烷烃、烯烃、炔烃物理性质方面的资料，将你所了解到的信息与同学交流。

脂肪烃包括烷烃（alkane）、烯烃（alkene）、炔烃（alkyne）等。烷烃是饱和烃，烯烃和炔烃是不饱和烃。正是由于烯烃和炔烃分子中含有不饱和键，因此它们与烷烃在化学性质上存在较大区别。

温故知新

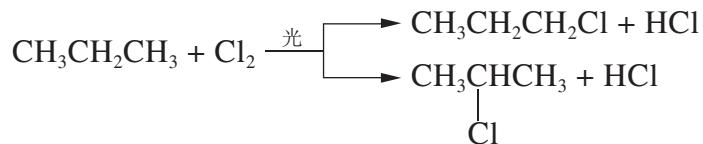


我们已经学习了甲烷和乙烯的一些化学性质。请你把甲烷和乙烯的特征性质及相关反应填入下表。

物质	特征性质	典型反应（化学方程式）
甲烷		
乙烯		

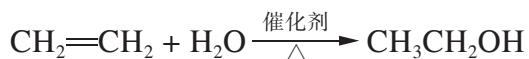
甲烷在光照条件下与氯气、溴蒸气发生取代反应生成多种卤代甲烷，其他的烷烃在一定条件下也能发生类似的反应，像这种烷烃中的氢原子被卤素原子取代，生成卤代烃，并放出卤化氢的反应称为**卤代反应**。

如丙烷与氯气的卤代反应：





烯烃分子中含有碳碳双键，乙烯是最简单的烯烃。与乙烯一样，烯烃也能发生加成反应。除可以与氢气、卤素单质发生加成反应外，烯烃还可以与卤化氢、水等加成。如：



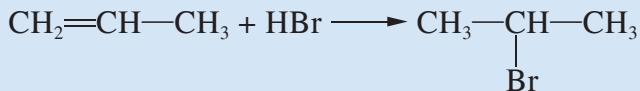
乙烯与水的反应也称为乙烯的水化，是工业上制取乙醇的方法之一。烯烃与卤化氢的加成也常用于制备卤代烃。



拓展视野

烯烃的不对称加成

丙烯和溴化氢分子的结构都不对称，在不同的条件下丙烯与溴化氢发生加成反应时，就有可能得到两种不同的加成产物。通常情况下，丙烯与溴化氢反应，主要得到2-溴丙烷。

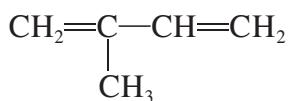


研究发现，当不对称烯烃与卤化氢发生加成反应时，通常“氢加到含氢多的不饱和碳原子一侧”，即遵循马尔可夫尼可夫（V. V. Markovnikov）规则（简称马氏规则）。

分子中含有多个双键的烯烃称为多烯烃。研究发现，1,3-丁二烯、2-甲基-1,3-丁二烯（异戊二烯）等分子的结构中，单键、双键是交替出现的。



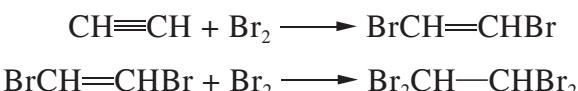
1,3-丁二烯



2-甲基-1,3-丁二烯

乙炔是最简单的炔烃，其结构式为 $\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$ ，分子中4个原子在同一条直线上，结构特征是含有碳碳三键。三键中有2个键不稳定，在化学反应中易断裂发生加成反应。

碳碳三键发生加成反应时可分步进行，先断裂1个键生成碳碳双键，双键继续发生加成变成碳碳单键。如：



学以致用

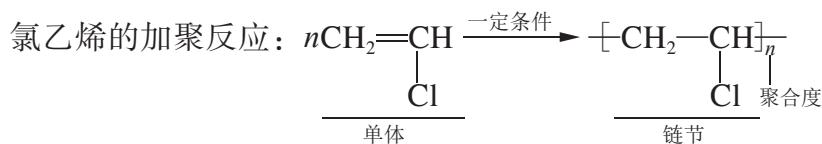


乙炔在 HgSO_4 、稀硫酸作催化剂的条件下，可与水发生加成反应生成乙醛，这是工业上制备乙醛的一种方法。

请写出反应的化学方程式。

乙炔与氯化氢在催化剂的条件下发生加成反应，可生成氯乙烯，这是最早生产氯乙烯的方法。在一定条件下，氯乙烯分子间发生加聚反应得到聚氯乙烯，简称PVC，PVC曾是世界上产量最大的通用塑料。由许多小分子相互加成生成高分子化合物的反应称为**加聚反应**（addition polymerization reaction）。

在加聚反应中，我们通常将用以形成高分子化合物的小分子物质称为单体（monomer），将高分子化合物中不断重复的基本结构单元称为链节（chain unit），将链节的数目称为聚合度（degree of polymerization）。



加聚反应是获得高分子材料的重要途径之一，人们日常生活中经常接触到的聚乙烯、聚苯乙烯、ABS工程塑料、顺丁橡胶等材料，以及一些重要新型材料如导电高聚物等都是通过加聚反应得到的。从三叶橡胶树中获得的天然橡胶（聚异戊二烯， $[\text{CH}_2-\underset{\substack{| \\ \text{CH}_3}}{\text{C=CH}}-\text{CH}_2]_n$ ），是由异戊二烯在三叶橡胶树体内发生加聚反应得到的。



聚乙烯保鲜膜



聚丙烯头盔



聚苯乙烯泡沫塑料



天然橡胶



丁苯橡胶轮胎

图 3-3 由加聚反应获得的高聚物



学以致用

- 写出由丙烯获得聚丙烯的化学方程式，指出聚丙烯的链节。
- 仔细分析异戊二烯与聚异戊二烯的结构，解释异戊二烯是如何反应生成聚异戊二烯的。1,3-丁二烯也可以发生类似的反应生成一种重要的合成橡胶，写出反应的化学方程式。
- 总结加聚反应的特点。

制备高分子化合物的原料是单体，它是同种或不同种分子的简单化合物的统称。单体一般是不饱和的、环状的或含有两个或多个官能团的小分子化合物。例如，氯乙烯是聚氯乙烯的单体，也是构成该高分子化合物的结构单元。高分子合成材料应用广泛，要求原料来源丰富、成本较低，而原料单体的成本往往占很大的比重，所以要求单体的生产工艺简单且经济合理。

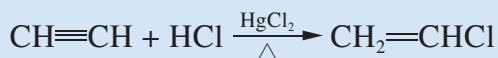


拓展视野

氯乙烯的生产工艺

聚氯乙烯（PVC）树脂的用途十分广泛，它是当前产量最大的树脂之一。氯乙烯是聚氯乙烯的单体，工业上有4种常用的生产工艺。

1. 乙炔氢氯化法。这是生产氯乙烯最早的方法，需使用氯化汞作催化剂。此法由于乙炔的生产成本高、乙炔氢氯化所用催化剂毒性大而受到限制。到2000年，我国大约一半的氯乙烯是用这种方法获得的。

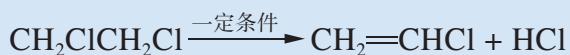


2. 乙烯氯化裂解法。这是为解决乙烯直接氯化法存在副产物多和产率低的问题而开发的生产工艺，此法产率高。



3. 乙烯氧氯化法。此法不使用氯气而使用氯化氢对乙烯氯化。





4. 乙烯氯化平衡法。比较方法2和方法3，可以发现方法2产生氯化氢，方法3消耗氯化氢。如将这两种方法结合，让方法2和方法3的第一步按一定的比例生产，可使氯化氢变为中间产物，这是目前世界上生产氯乙烯比较成熟的方法。



脂肪烃与石油化工

脂肪烃与现代人类生活的关系非常密切。目前人类使用的能源中，脂肪烃提供了60%以上，因此，脂肪烃被认为是现代“能源经济”的推进剂。此外，脂肪烃还是最重要的有机化工基础原料。

交流讨论



你知道社会发展所需的大量脂肪烃的来源吗？为什么石油被称为“工业的血液”？以石油和天然气为原料可以生产哪些日常用品？

人类使用石油和天然气的主要目的是获得能源和化工原料。石油是一种黄绿色至黑褐色的黏稠液体，主要是由气态烃、液态烃和固态烃组成的混合物，其中还含有少量不属于烃的物质。以石油和天然气为原料制造的化学品，统称为石油化工产品（petrochemical）。石油经过各种加工过程，可制得汽油、煤油、柴油、润滑油、石蜡、沥青等石油产品（petroleum product），并可为塑料、合成纤维、合成橡胶、合成洗涤剂、化肥等产品提供丰富的原料。

调查研究



请同学们查阅资料，调查身边使用石油产品的情况，交流石油产品对人们生活的影响。

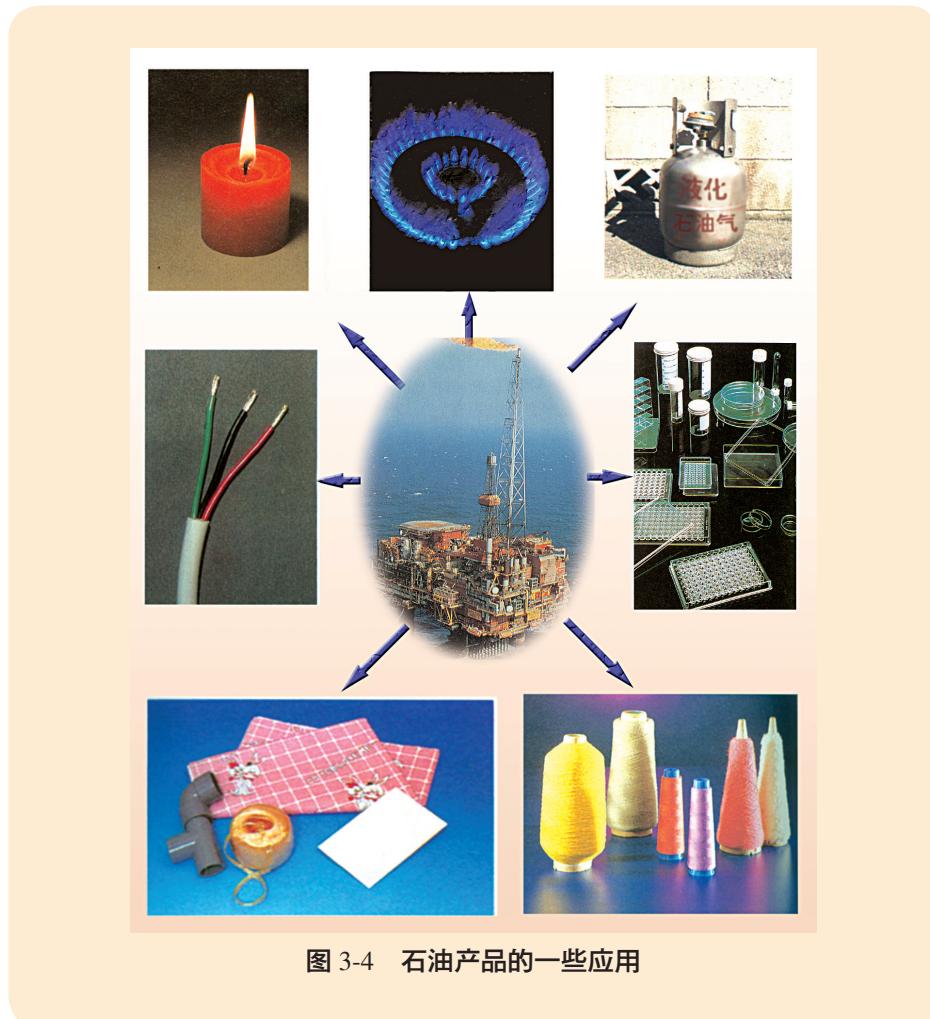


图 3-4 石油产品的一些应用

石油的组成成分随产地不同有所不同。我国黑龙江出产的石油以烷烃为主，新疆、辽宁和山东出产的石油主要由链烷烃和环烷烃组成，我国台湾出产的石油则以芳香烃为主。成分的差别导致不同地区出产的石油的密度、黏度、凝固点等存在较大差异。天然气的主要成分是甲烷，不同产地的天然气成分差别也较大。我国四川的天然气中甲烷的含量高达95%以上，而有些地区的天然气中含有较多的乙烷、丙烷、丁烷等，甲烷只占85%左右。



图 3-5 石油开采



拓展视野

石油化学工业

石油化学工业是国民经济的重要支柱之一，它以石油和天然气为原料，生产石油产品和石油化工产品。石油经过炼制可以得到石油产品，主要包括各种燃料油（汽油、煤油、柴油等）、润滑油以及液化石油气、焦炭、石蜡、沥青等。对一些石油产品和天然气进行一步或多步化学加工可以获得石油化工产品，主要包括乙烯、丙烯、丁二烯、苯、甲苯、二甲苯等基本化工原料以及200多种有机化工原料和合成材料（塑料、合成纤维、合成橡胶）等。广义的石油化工还包括氨、尿素和硝酸的生产。

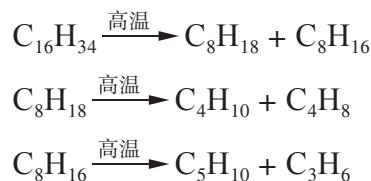
对石油加热，使其汽化，然后按烷烃沸点的不同，分离出不同的馏分，这就是石油的分馏（fractionation）。石油常压分馏可得到碳原子数较少、沸点较低的石油气、汽油、煤油、轻柴油等馏分。常压分馏中未被蒸发的是碳原子数较多、沸点较高的物质，叫重油。重油的分离常采用减压分馏的方法，减压分馏后可以得到重柴油、润滑油、石蜡、燃料油等馏分，未被汽化的剩余物质为沥青。

学以致用



石油的分离常采用常压分馏和减压分馏相结合的方法。
请你从石油成分本身的性质和工业生产实际等方面分析，为什么要采用这两种方法，并进一步归纳这两种分离方法的适用范围。

汽油等轻质油和气态烯烃（如乙烯、丙烯和丁二烯）是经济价值较高的重要石油化工产品，但是石油的常压、减压分馏得不到烯烃，得到的轻质油产量也不高。在石油加工中，常利用具有较长碳链的烃在高温下发生反应生成短碳链烃来获得较多的轻质油和气态烯烃。这些变化可以使长碳链变短，同时生成烯烃。





利用与上述反应类似的一系列反应，可以由重油获得轻质油，解决石油分馏所得汽油、煤油和柴油等轻质油产量低的问题，该过程称为**裂化**（cracking）。使用催化剂的裂化称为**催化裂化**（catalytic cracking），不使用催化剂的裂化称为**热裂化**（thermal cracking）。利用同样的反应原理，可以由轻质油生产气态烯烃，以此为目的的石油加工称为**裂解**（pyrolysis），又称深度裂化。



分馏塔



裂解炉

图 3-6 石油的加工



批判性思维

在石油加工过程中，如何从重油中进一步提高轻质油的产量，增加炼油的高附加值产品，是全球石油技术领域研究的重大课题，为此提出了重油“深拔”的概念。请你查阅相关资料，从化学的角度，对此提出自己的研究思路。

在石油的加工中，还有催化重整和加氢裂化等工艺，它们都是为了提高汽油等轻质油品质的石油加工工艺。催化重整还是工业上获得芳香烃的主要途径。



选择决策

2001年国家科技部“863”计划和中国科学院联合启动了“煤制油”重大科技项目，研究已取得重大进展。请查阅有关文献，从不同角度对该项技术推广的可行性进行评估。

经过我国石油化工专家和技术人员多年的不懈努力，石油炼制在多个领域都有重大突破，重油加工技术处于国际领先地位。我国在关注石油化学工业发展的同时，必须警惕石油化工及其产品对生态环境产生的不良影响。发展绿色石油化工已经成为当今的一种潮流，引起了全世界的广泛关注。目前，科学家正在积极探索“全合成、零排放”的绿色化学工艺，开发对环境友好的产品。

学科提炼



绿色化学产品的设计思路

要彻底解决化学产品对人类和社会的危害，必须尽快推出一系列绿色化学产品，以替代有毒有害化学品。

人类要使用绿色化学产品，就需要对化学产品进行设计。首先要认识产品的分子结构，了解其功能以及对人类健康和环境的危害，再通过对结构的某些修饰使其有用的功能最大化，同时使其固有的危害最小化。

例如，面对“如何合成一种对其他野生动植物无害的杀虫剂？”这一问题，就需要对原先杀虫剂结构的修饰进行设计，以达到解决问题的目的。具体可采用以下几种基本方法：①研究杀虫剂杀虫的原理，以及对野生动植物产生毒害的原因；②研究杀虫剂结构中哪一部分是决定其活性的关键结构单元；③避免使用有毒的功能基团，即如果具有活性的基团有毒性就不能使用，改用其他无毒且有活性的基团替代；④使添加的有毒辅助物质的用量最小化，如溶解杀虫剂的溶剂和其他添加剂等就是辅助物质；⑤使生物利用度最小化，即通过合适的方法避免杀虫剂进入鸟类和野生动植物体内。

2016年，我国发布了《石化和化学工业发展规划（2016—2020年）》。该规划提出，要深入实施创新驱动发展战略和绿色可持续发展战略，加快培育化工新材料，建设以石油化工为主导产业的新型工业化产业基地。2022年，我国颁发了《关于“十四五”推动石化行业高质量发展的指导意见》，提出我国石化行业仍需继续向自主创新能力强、结构布局合理、绿色安全低碳的高质量发展格局等方面迈出坚实步伐。



拓展视野



图 3-7 石油蓝皮书：中国石油产业发展报告（2018）

我国的石油、天然气资源

我国石油资源集中分布在渤海湾、松辽、塔里木、鄂尔多斯、准噶尔、珠江口、柴达木和东海陆架八大盆地。2016年，在世界各国石油储量中，中国排名第14位。

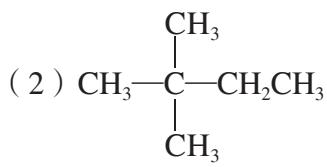
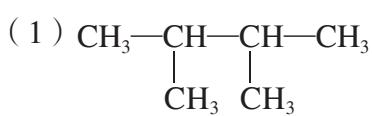
2018年发布的《石油蓝皮书：中国石油产业发展报告》指出：目前，中国是世界第五大产油国，石油资源丰富，截至2016年底，探明石油地质储量381亿吨，可采储量101亿吨。我国石油资源比较丰富，但以品位较差、地理地质条件较复杂的油气资源为主，勘探开发利用程度总体较低，与我国经济高速增长对石油的需求相比，石油供给相对不足。

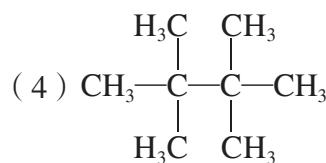
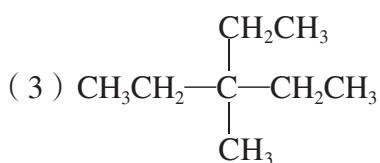
我国天然气工业起步于20世纪后期，资源区域主要分布在中西部盆地。在我国陆地及管辖海域下，蕴藏着十分丰富的天然气资源。专家预测，我国天然气资源总量可达40万~60万亿立方米，是天然气资源大国。中国的天然气年消费量，近10年来从1 676亿立方米增长到3 945亿立方米。在当今以化石能源为主的背景下，天然气是最清洁的低碳化石能源，是化石能源向新能源过渡的桥梁。加快天然气产业发展既是中国实现能源消费结构优化调整的现实选择，也是强化节能减排的迫切需要。天然气在资源潜力、清洁性、高效性、经济性和利用领域等方面都具有极大的优势。

理解应用

1. 一支试管中盛放了两种已分层的无色液体。请设计简便的方法，检验出哪一层是水层，哪一层是有机层。

2. 下列烷烃发生一氯取代后，分别能得到几种异构体（不考虑立体异构）？





3. 请写出下列反应的化学方程式。

- (1) 乙炔与氢气用镍作催化剂在加热条件下发生加成反应生成乙烷。
- (2) 乙烯与水用硫酸作催化剂在加热条件下发生加成反应。
- (3) 1-丁烯与氢气用镍作催化剂在加热条件下发生加成反应。
- (4) 环己烷与液溴在光照条件下反应生成一溴取代产物。

4. 写出下列物质发生加聚反应所得产物的结构简式。

- (1) 1,1-二氯乙烯。
- (2) 丙烯。
- (3) 2-甲基-1,3-丁二烯。

5. 2-甲基-1,3-丁二烯与溴发生加成反应时能得到几种产物？请写出它们的结构简式。

6. 某同学做了以下探究实验：在甲、乙两只塑料袋中分别放入4粒成熟程度接近的生葡萄，向甲中又放进一粒熟葡萄，将两只塑料袋袋口扎紧。经过一段时间的观察，该同学发现两只塑料袋中的生葡萄变熟所需时间长短不同。

- (1) 请指出哪只塑料袋中的生葡萄先成熟，并说明理由。
- (2) 结合所学化学知识，设计简单易行的葡萄保鲜方案。

7. 请列举日常所见的石油化工产品，从中选择一个，调查它的生产过程和行业现状。



第二单元 芳香烃

芳香族化合物最早是指那些从各种天然的香树脂、香精油中提取而来并且具有香味的物质，但随着研究的深入，人们发现这些物质中大多数含有苯环结构。目前已知的很多芳香族化合物并不具有芳香气味，而且仅凭气味作为分类依据并不合适，所以这个名称早已失去原来的意思。但由于习惯，“芳香族化合物”的名称仍被沿用下来，用于表示含有苯环的有机化合物。芳香烃或芳烃（arene）是芳香族碳氢化合物的简称。



目标预览

通过本单元内容的学习，要求同学们努力达到：

能运用宏观和微观相结合的方法推测苯的结构，能描述苯的分子结构特征与性质之间的关系，能通过实验探究认识苯及其同系物的化学性质，能举例说明有机物中基团之间的相互作用对有机物性质的影响，能举例说明反应条件对有机反应产物的影响与意义，认识芳香烃对人类生活和现代社会发展的影响。



苯的结构和性质

在芳香烃中，苯（benzene）的结构最简单，苯环是芳香族化合物最基本的结构单元。通过苯的¹H核磁共振谱图可以发现，苯分子中的6个¹H核的核磁性完全相同，说明6个氢原子所处的化学环境完全一致，苯的化学性质也说明了这一点。

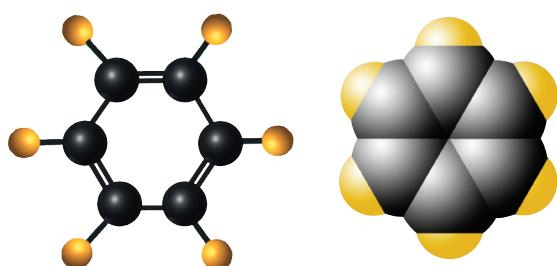


图 3-8 苯的分子结构模型

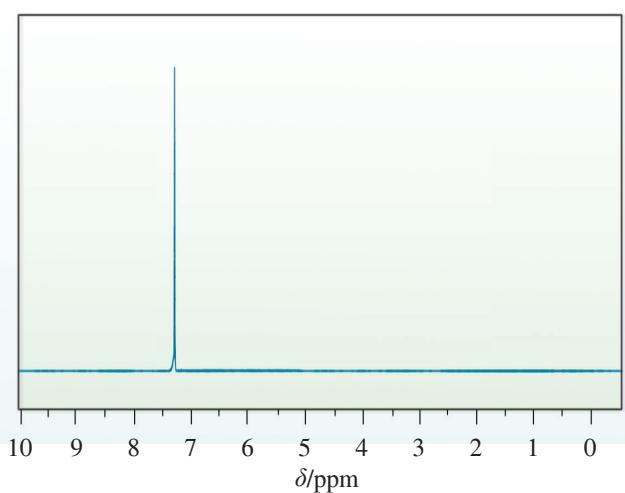


图 3-9 苯的¹H核磁共振谱图

苯分子结构的确定经历了漫长的历史过程。苯最初是在1825年由英国科学家法拉第(M. Faraday, 1791—1867)对煤气生产过程中得到的一种油状液体进行蒸馏分离后发现的。后来的化学家又确定了苯的相对分子质量为78, 化学式为C₆H₆。实验研究发现, 苯的一取代物只有一种, 说明苯分子中的6个C和6个H是相同的。在此实验事实的基础上, 1866年, 德国化学家凯库勒提出了苯的环状结构, 称为凯库勒式, 如图3-10所示。

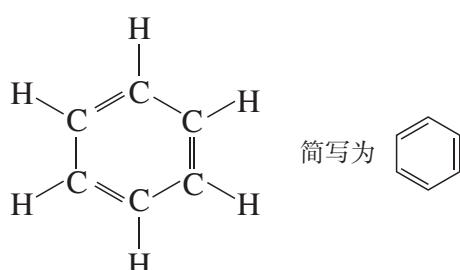


图 3-10 苯的凯库勒式

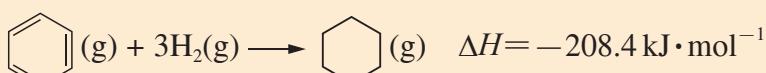
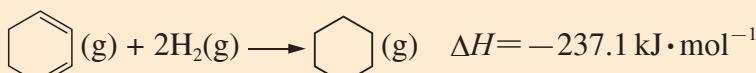
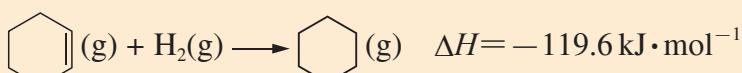
图 3-11 德国化学家凯库勒
(F. A. Kekulé, 1829—1896)

交流讨论



现在, 人们已经知道:

- (1) 苯的一取代物只有1种, 二取代物共有3种。
- (2) 苯不能通过化学反应使酸性高锰酸钾溶液、溴的四氯化碳溶液褪色。
- (3) 碳碳双键加氢时总要放出热量, 并且放出的热量与碳碳双键的数目大致成正比。苯在镍等催化下可与氢气发生加成反应生成环己烷, 所放出的热量比环己二烯与氢气加成生成环己烷的还要少。



根据以上事实, 说说你对苯环结构的认识。

苯分子中的6个碳原子和6个氢原子都处于同一平面上, 为平面正六边形结构。大量的实验事实表明, 在苯分子中并不存在独立的碳碳单键(C—C)和碳碳双键(C=C), 也就是说, 苯的凯库勒式结构不能全面反映苯的结构, 但习惯上人们仍普遍采用凯库勒式表示苯以及苯环的结构。



拓展视野

苯环的大π键

苯分子中，每个碳原子都采取 sp^2 杂化方式分别与1个氢原子、2个碳原子形成 σ 键。6个碳原子除了通过6个C—C σ 键连接成环外，每个碳原子还分别提供1个p轨道和1个电子，由6个碳原子共同形成大 π 键（如图3-12）。苯分子中C—C—H和C—C—C的键角均为 120° 。



扫描隧道显微镜观察到的苯分子

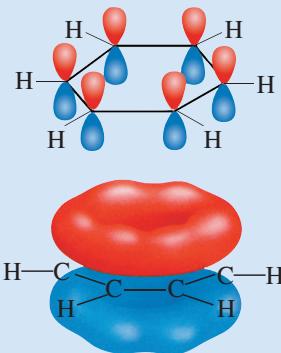


图 3-12 苯分子结构示意图

苯分子中碳碳键的键长都是 1.40×10^{-10} m，既不同于碳碳单键的键长(1.54×10^{-10} m)，也不同于碳碳双键的键长(1.34×10^{-10} m)，这说明在苯分子中，碳原子之间形成的化学键既不是单键，也不是双键。

正是由于苯环上6个碳原子共同形成了大 π 键，使得苯环的结构变得十分稳定。苯的氢化热偏低说明了苯环结构相当稳定。基于苯环的成键特点，苯环的结构又常用表示。

通过上面对苯分子结构的分析可知，苯环的环状结构很稳定，较难发生化学反应。事实是否如此呢？

观察思考

苯的溴化

仔细观察下列实验，记录实验现象。

(1) 如图3-13所示，在三颈烧瓶中加入少量铁粉，向三颈烧瓶上的一个滴液漏斗中加入5 mL苯和1 mL液溴的混合物，另一个滴液漏斗中加入30 mL 10%的氢氧化钠溶液，锥形瓶中注入蒸馏水，干燥管中加入碱石灰，连接好仪器，检查装置气密性。先向三颈烧瓶中加入苯和液溴的混合物，观察三颈烧瓶和锥形瓶中出现的现象。反应完毕后，再向三颈烧瓶中加入氢氧化钠溶液，观察三颈烧瓶中生成物的状态。

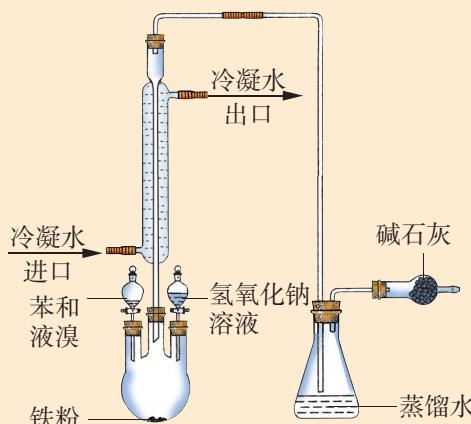


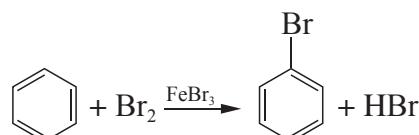
图 3-13 苯的溴化实验装置

(2) 请填写下表。

实验现象	结论

(3) 请根据实验现象，判断上述反应属于加成反应还是取代反应，并说明原因。

在三卤化铁作催化剂时，苯与氯单质或溴单质可发生取代反应，生成一卤代苯、二卤代苯等。生成的二卤代苯主要是邻位和对位的取代产物。





实验探究

在试管中将1.5 mL浓硝酸和2 mL浓硫酸混合均匀，冷却到50℃以下，在不断振荡下，逐滴加入约1 mL苯，并注意避免使混合物的温度超过60℃。塞上带有导管的橡皮塞，在50~60℃的水浴中加热几分钟（如图3-14）。反应完毕后，将混合物倒入盛有水的烧杯中，观察生成物的状态。

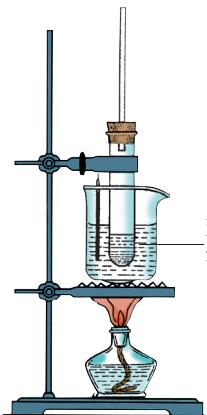
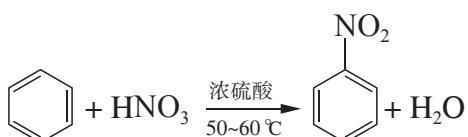


图 3-14 苯的硝化实验装置

苯与浓硝酸、浓硫酸的混合物在50~60℃时生成一取代产物硝基苯，当温度升高至100~110℃时，则生成二取代产物间二硝基苯。



上述事实表明，在一定条件下，苯容易发生取代反应。但当温度为180~250℃、压强为18 MPa时，有镍催化剂存在条件下，苯与氢气也能发生加成反应生成环己烷。这是工业上制备环己烷的主要方法。



学科提炼

苯分子结构对其反应类型的影响

从苯发生取代反应和加成反应的条件可以看出，苯的取代反应比加成反应容易得多。这个结果可以根据苯分子结构提出合理的解释。苯的分子结构很稳定，加成反应破坏了苯环的结构，破坏一个稳定的结构需要外界提供更多的能量，因此，苯的氢化加成需要较高温度、高压和催化剂；而取代反应没有破坏苯环结构，所以比加成反应要容易进行，如苯的溴化反应在催化剂存在下即可发生。

芳香烃的来源与应用

调查研究

苯是生产苯酚、硝基苯、苯胺、环己烷、二氯苯、氯苯、苯乙烯等重要有机化合物的原料。通过这些有机化合物又可生产多种合成树脂、合成纤维、染料、医药、洗涤剂、合成橡胶、炸药等。请查阅有关资料，了解苯的用途，并与同学交流你掌握的资料。

芳香烃最初来源于煤焦油中。随着石油化学工业的兴起，现代工业生产中芳香烃主要来源于石油化学工业中的催化重整和裂化。在芳香烃中，作为基本有机原料应用得最多的是苯、乙苯和对二甲苯等。由芳香烃作为单体生成的高分子化合物越来越多地应用于生产、生活中，如生活中常见的包装材料、泡沫塑料、透明水杯、五颜六色的儿童玩具等，大多是由苯乙烯为单体聚合而成的聚苯乙烯制品。



生活向导

软化胎面胶的芳香烃

汽车在公路上快速行驶，为什么轮胎没有被磨破？这是因为轮胎的最外层是一层印有花纹的胶料，即胎面胶，它可以很好地缓冲行驶过程中的冲击和摇摆，防止轮胎被割破或刺穿，因此，制作胎面胶的橡胶要具有很好的柔韧性和拉伸性能。

为了达到这种效果，须向橡胶中加入适量的芳香烃软化剂，以提高胶料的塑性。芳香烃软化剂与天然橡胶、丁苯橡胶、顺丁橡胶等互溶性好，还能增大橡胶分子链间的距离，减小分子之间的作用力，并产生润滑作用，在机械力作用下使分子链之间较容易产生滑动，从而增加胶料的塑性。



图 3-15 飞驰的汽车与轮胎胶料



苯的同系物分子结构中只有一个苯环，它们可以看成是由苯环上的氢原子被烷基代替而得到的。苯环上可以连接1~6个烷基。

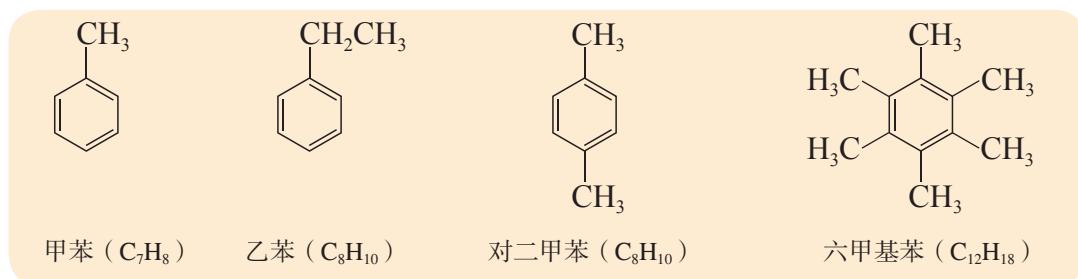


图 3-16 芳香烃的几种同系物的结构简式



实验探究

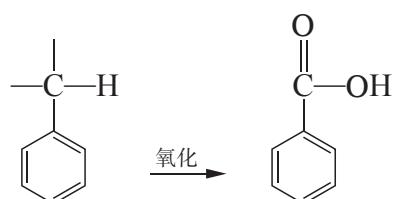
下列实验能帮助我们认识苯的同系物的性质。

【实验1】取一支试管，向其中加入2 mL甲苯，再加入3~5滴酸性高锰酸钾溶液，振荡试管，必要时可稍稍加热，观察实验现象。

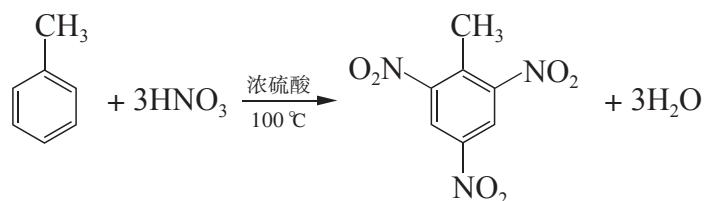
【实验2】取一支试管，向其中加入2 mL二甲苯，再加入3~5滴酸性高锰酸钾溶液，振荡试管，必要时可稍稍加热，观察实验现象。

根据以上实验现象，你的实验结论是_____。

苯的同系物中，如果与苯环直接相连接的碳原子上连接有氢原子，该苯的同系物就能够使酸性高锰酸钾溶液褪色，与苯环相连的烷基通常被氧化为羧基。



甲苯等物质也能发生卤代、硝化等取代反应，还能与氢气等物质发生加成反应。例如，甲苯与浓硝酸、浓硫酸的混合酸在30℃时主要获得邻硝基甲苯和对硝基甲苯两种取代产物，而在100℃时则能获得不溶于水的淡黄色针状晶体2,4,6-三硝基甲苯，简称三硝基甲苯。三硝基甲苯是一种黄色烈性炸药，俗称TNT，常用于国防和民用爆破。

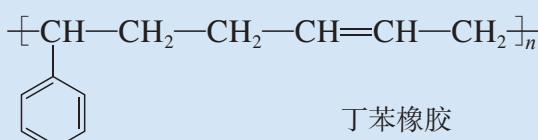
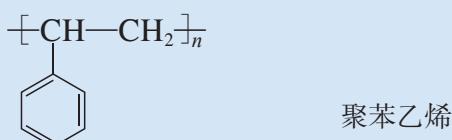




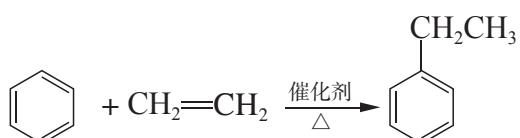
拓展视野

乙苯的用途

乙苯是制苯乙烯的原料，苯乙烯是制聚苯乙烯、丁苯橡胶（在合成橡胶中产量最大）的原料。在石油化工生产中，通过石油的催化重整等加工处理得到乙苯的量较少。工业上主要采用乙烯和苯合成乙苯，再由乙苯脱氢制得苯乙烯。苯乙烯加聚可以得到聚苯乙烯，苯乙烯与丁二烯加聚可以得到丁苯橡胶等。



工业上制备乙苯（又称苯乙烷）、异丙苯，主要通过苯与乙烯或丙烯在催化剂存在条件下反应获得。



批判性思维



合成乙苯最初采用的催化剂是无水三氯化铝，其合成工艺见图3-17。此工艺中三氯化铝的腐蚀性较大，需要加入强腐蚀性的盐酸以提高催化效果，反应结束后还要使用大量的氢氧化钠中和废酸。（1）请从绿色化学的角度，对下图所示的生产工艺进行评价。（2）目前我国改进的新工艺，采用分子筛固体酸作为催化剂生产乙苯、异丙苯等烷基苯。请查阅资料说明新工艺的特点，并与 AlCl_3 催化合成工艺作比较。

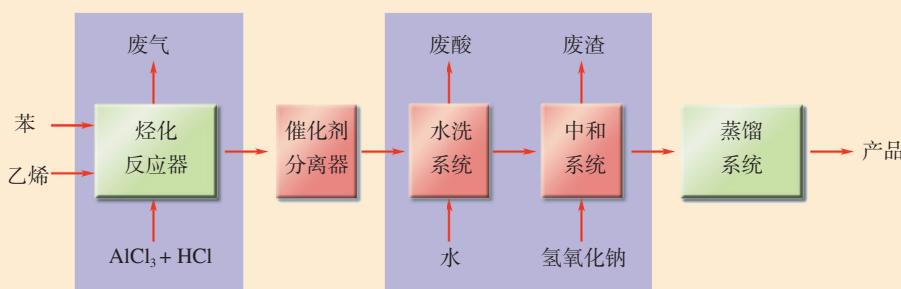


图 3-17 AlCl_3 催化合成乙苯的工艺



有些芳香烃分子中含有多个苯环，这样的芳香烃称为多环芳烃。多环芳烃中的苯环有些通过脂肪烃基连接在一起（多苯代脂肪烃），有些是苯环之间通过碳碳单键直接相连的（联苯或联多苯），还有一些则是苯环之间通过共用苯环的若干条环边而形成的（稠环芳烃）。

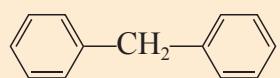
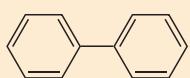
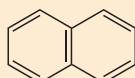
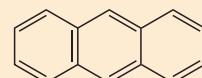
二苯甲烷 ($C_{13}H_{12}$)联苯 ($C_{12}H_{10}$)萘 ($C_{10}H_8$)蒽 ($C_{14}H_{10}$)

图 3-18 一些简单的多环芳烃的结构简式



拓展视野

辩证看待芳香烃的功用

芳香烃是有机化学工业中最基本的原料，其中单环芳烃更为突出。芳香烃分子结构中含有特殊的稳定结构的苯环，与烷烃相比苯环上的氢更易发生取代反应，苯环的取代基受到苯环的影响而活化，人们更方便在芳香烃中接入功能性基团或实现基团的转化。苯、二甲苯是制造多种合成树脂、合成橡胶、合成纤维的原料，高级烷基苯是制造表面活性剂的重要原料，稠环芳烃中萘是制造染料和增塑剂的重要原料，多种含氧、含氯、含氮、含硫的芳烃衍生物用于生产多种精细化工产品。某些芳烃或其混合物如苯、甲苯、二甲苯等是应用广泛的有机溶剂，是黏合剂、油性涂料、油墨等的优良溶剂。

芳香烃对环境的污染也是人们关注的重点，不仅因为它具有较强的毒性和抗降解能力，还因为一些芳香烃具有致畸、致癌、致突变的作用，并可在生物体内富集。在制鞋、皮革加工和箱包、家具制造中使用的黏胶剂，往往都含有苯或苯的同系物，从事上述职业者要加强防范，避免中毒。此外，秸秆、树叶、垃圾等的不完全燃烧会产生多种稠环芳烃，香烟的烟雾中也存在稠环芳烃，因此在日常生活中，不应随意焚烧废弃物，不得在公共场所吸烟。

理解应用

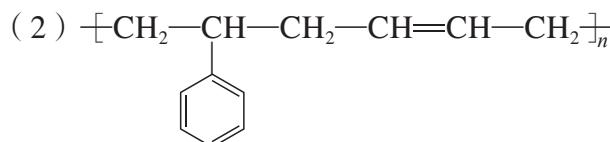
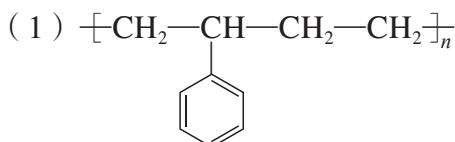
1. 完成下列反应的化学方程式。

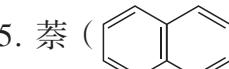
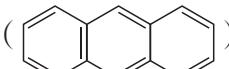
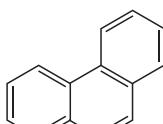
- (1) 苯与氯气在三氯化铁作催化剂时发生取代反应。
- (2) 苯与浓硫酸、浓硝酸的混合酸在100~110℃时发生取代反应生成间二硝基苯。
- (3) 苯乙烯与溴的四氯化碳溶液反应。
- (4) 苯与丙烯在催化剂作用下反应生成异丙苯。

2. 选择适当的试剂区分己烯和苯，写出实验步骤和现象。

3. 某液态芳香烃的相对分子质量为106，请写出该芳香烃所有可能的结构简式，并用系统命名法命名。

4. 两种或两种以上具有不饱和键的化合物之间也能通过加聚反应形成高分子化合物（参见第71页“拓展视野”中“乙苯的用途”）。请写出下列高分子化合物的单体。



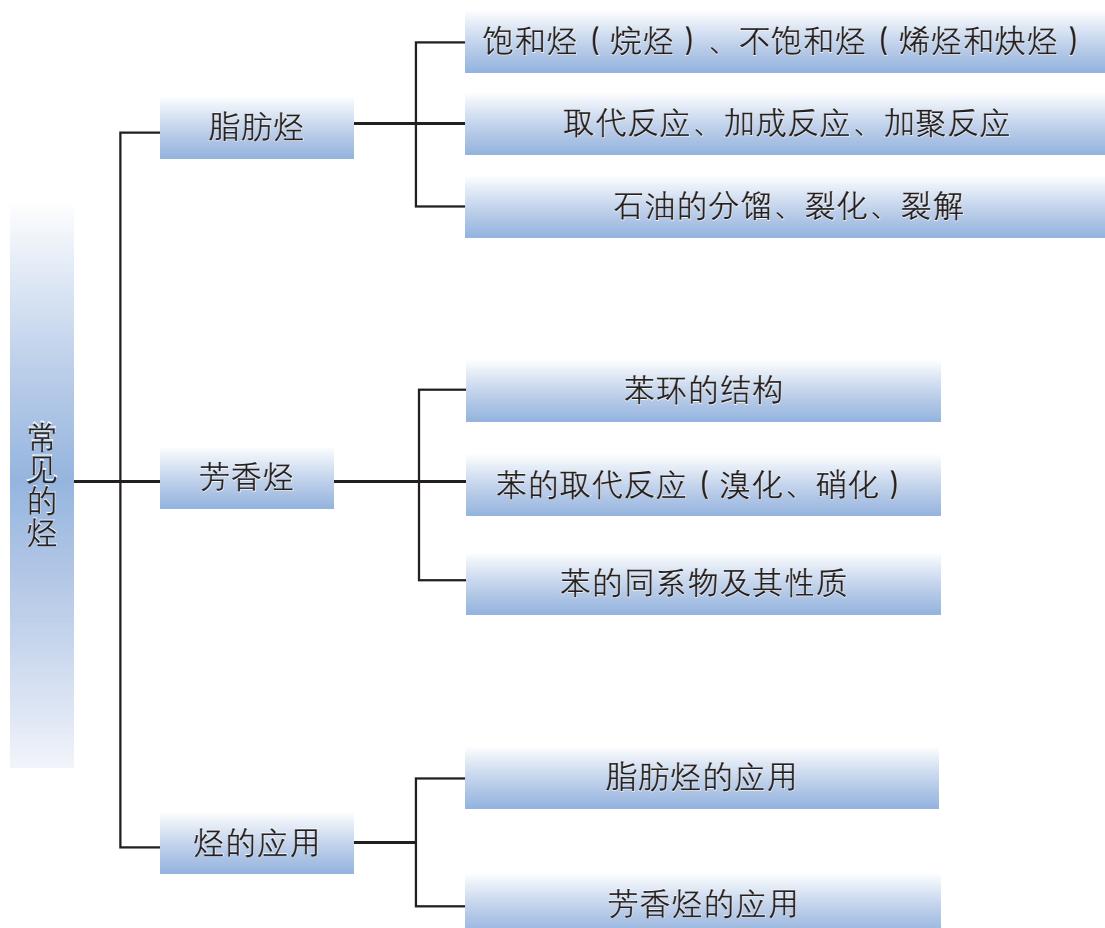
5. 萍（）、蒽（）、菲（）是比较简单的稠环芳香烃，请回答以下问题。

- (1) 在一定条件下，萍与浓硫酸、浓硝酸的混合酸作用可以得到两种萍的一硝基取代物，写出这两个反应的化学方程式。
- (2) 蒽和菲之间存在何种关系？
- (3) 菲的一氯取代产物可能有多少种？写出它们的结构简式。

6. 两种化合物A和B具有相同的最简式。经测定其分子中只含碳、氢两种元素，且碳元素的质量分数均为88.9%。已知化合物A和化合物B的相对分子质量之比为1:3；A在常温下为气态，B为芳香烃；A能使溴的四氯化碳溶液褪色，充分反应后生成的产物中每个碳原子上均连有一个溴原子；B与溴单质在溴化铁作催化剂的条件下，不能发生溴代反应。试推断A和B的结构。



建构整合



回顾与总结



请参照下列问题或线索，回顾和总结本专题的学习内容。

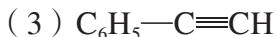
- ✓ 烷烃、烯烃、炔烃和芳香烃分别有哪些典型的化学性质？请举例说明。
- ✓ 脂肪烃、芳香烃的主要来源有哪些？
- ✓ 脂肪烃、芳香烃在结构和性质上有什么差异？
- ✓ 你能说出取代反应与加成反应的区别吗？
- ✓ 你知道加成反应与加聚反应的关系吗？
- ✓ 为什么称石油为“工业的血液”？对此你有什么认识？
- ✓ 你能列举出石油化工的主要产品并说出它们的用途吗？
- ✓ 石油的加工处理方法主要有哪些？
- ✓ 你能列举出说明苯环结构稳定的实验事实吗？这些实验事实分别从哪些方面证明了苯环结构的特殊性？
- ✓ 你知道绿色化学工艺的含义吗？发展绿色化工对人类社会可持续发展有何重要意义？



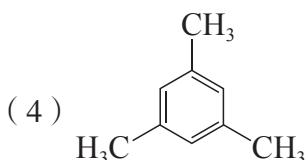
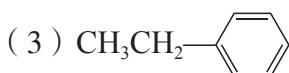
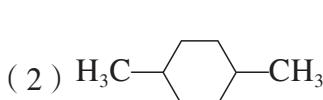
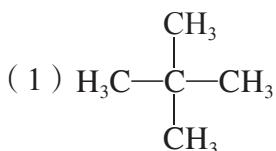
综合评价

1. 请从烷烃、烯烃、炔烃和芳香烃中各选择1~2个代表物，比较它们的化学性质。

2. 下列分子中的所有原子，哪些有可能处于同一平面？哪些一定不处于同一平面？



3. 指出下列有机化合物的一氯代物分别有几种。



4. 1,3-丁二烯与氢气发生加成反应可能得到几种产物？请写出它们的结构简式，并用系统命名法命名。

5. 环辛四烯 (C_8H_8 ,) 分子中碳碳键的键长有两种，分别为 1.33×10^{-10} m (4个) 和 1.46×10^{-10} m (4个)。

(1) 请在右图中注明键长为 1.46×10^{-10} m 的碳碳键。



(2) 请比较苯和环辛四烯在化学性质上的差异。

6. 某石油化工产品经检验只含碳、氢两种元素，测得它的相对分子质量为92，易使酸性高锰酸钾溶液褪色，但不能使溴的四氯化碳溶液褪色。该石油化工产品可能是什么物质？

7. 碳元素和氢元素的质量比都是 $12:1$ 的三种烃A、B、C。A呈气态，B和C呈液态；A、B、C的相对分子质量之比为 $1:3:4$ ；A和C既能使溴的四氯化碳溶液褪色，又能使酸性高锰酸钾溶液褪色；B既不能使溴的四氯化碳溶液褪色，也不能使酸性高锰酸钾溶液褪色；A、C都能发生加聚反应，A的加聚产物具有导电性，C的加聚产物则是使用较为广泛的塑料。

(1) 写出A、B、C的分子式。

(2) 写出A、C分别发生加聚反应所得产物的结构简式。

专题 4

生活中常用的有机物 ——烃的含氧衍生物

醇和酚

醛 羧酸



烃分子中的氢原子被其他原子或原子团取代，形成一系列烃的衍生物，如醇、酚、醛、酮和羧酸等。从结构上看，如果它们的官能团含有氧原子，则称为烃的含氧衍生物。

人类的日常生活离不开烃的含氧衍生物。例如，乙醇、异丙醇是常见的杀菌、消毒剂；维生素E属于酚类，它有助于人体生长发育和抗衰老；35%~40%的甲醛水溶液就是著名的消毒剂、防腐剂“福尔马林”；柠檬酸在食品工业中用作调味剂。从结构上看，烃的含氧衍生物的性质与其官能团的关系更为密切。本专题侧重讨论烃的含氧衍生物的结构、性质及应用。





第一单元 醇和酚

自然界中存在多种醇，如酵母细胞将植物中的糖类分子转化成的乙醇，从动植物体内分离出的胆固醇、肌醇、维生素A、薄荷醇等。自然界中存在的酚类化合物大部分来自植物的生命活动。植物体内含有多种酚，如谷类、小麦胚芽、棉籽油、南瓜、绿叶蔬菜中含有维生素E，漆树中含有漆酚，茶叶中含有茶多酚。



目标预览

通过本单元内容的学习，要求同学们努力达到：

能描述乙醇、苯酚的物理性质；能从官能团角度区别醇、醚和酚的结构差异；能通过实验探究获得乙醇、苯酚的化学性质；能从官能团角度分析和推断醇类、酚类物质的共性；能列举醇类、酚类在日常生活中的广泛应用，认识醇类、酚类物质对现代社会可持续发展的影响，能依据醇类、酚类物质的性质对环境、能源等具体问题作出判断。



醇的结构和性质

烃分子中饱和碳原子上的氢原子被羟基取代所形成的化合物称为醇^①（alcohol）。在醇类化合物中，人类很早就认识了乙醇，乙醇的分子式为C₂H₆O，结构式如图4-2所示，结构简式为CH₃CH₂OH。



图 4-1 乙醇分子的空间填充模型

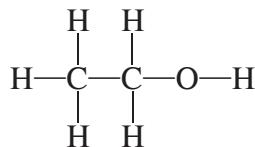


图 4-2 乙醇的结构式

① 当羟基与碳碳双键或碳碳三键相连时，容易发生异构化。例如，羟基与碳碳双键（C=C）相连时，会转变为醛或酮。

温故知新



请与同学交流你所知道的有关乙醇的一些性质。列举乙醇能发生的化学反应，指出在反应过程中乙醇分子中的哪些化学键发生了断裂。

从结构上看，乙醇是乙烷分子中的氢原子被—OH原子团取代的产物；从性质上看，乙醇与原来的乙烷差异较大，这是由于乙醇分子中存在—OH官能团。

基础实验



乙醇中羟基氢原子的活泼性

【实验1】向小烧杯中加入无水乙醇，再放入一小块切去表层的金属钠（绿豆粒般大小），观察实验现象。将观察到的现象以及你思考得出的结论填入下表。

	实验现象	结论
①		
②		

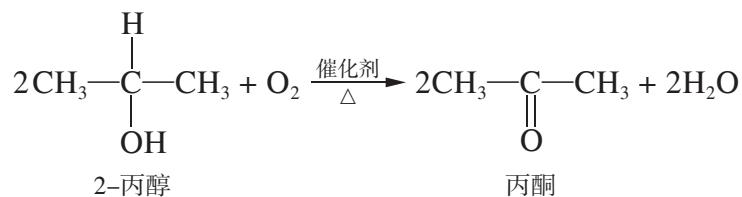
【实验2】设计实验检验实验1中生成的气态产物。

【实验3】向两支试管中分别加入3 mL水和3 mL乙醚^①（C₂H₅—O—C₂H₅），再分别向两支试管中放入一小块切去表层的金属钠（绿豆粒般大小），观察实验现象。

根据实验2和实验3，结合金属钠的其他性质，你能写出金属钠与乙醇反应的化学方程式吗？请与同学交流你的想法。

乙醇与钠反应生成乙醇钠，并放出氢气。乙醇钠是有机合成中的重要试剂，它常用于医药和农药等生产中，也常用作有机合成中的强碱性催化剂。

醇在铜或银等催化剂存在下，可被氧气氧化为醛或酮。



① 市售乙醚常含少量水、醇类等杂质，为避免干扰，实验前需经除杂处理。



观察思考

乙醇与氢卤酸的反应

【实验】组装如图4-3所示装置。在试管Ⅰ中依次加入2 mL蒸馏水、4 mL浓硫酸、2 mL 95%的乙醇和3 g溴化钠粉末，在试管Ⅱ中注入蒸馏水，烧杯中注入自来水。加热试管Ⅰ至微沸状态数分钟后，冷却。观察并描述实验现象。

在该反应中，加入蒸馏水、浓硫酸和溴化钠固体的目的是获得氢溴酸。根据上述实验现象，你能判断出乙醇和氢溴酸反应的产物吗？

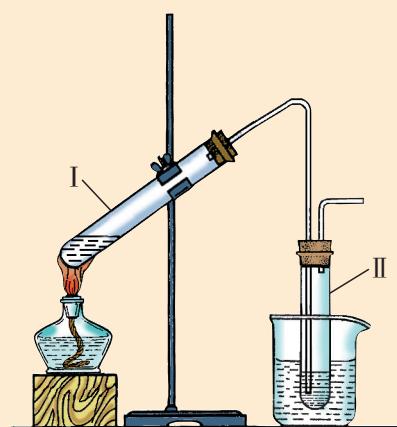
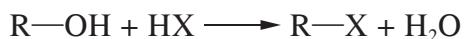


图 4-3 乙醇与氢卤酸反应的装置

醇不仅可以与氢溴酸反应，还可以与其他氢卤酸反应。在反应中，醇分子中的羟基被卤素原子取代生成卤代烃。



在实验室和工业中，卤代烷烃常用醇和氢卤酸的反应来制备。



批判性思维

烷烃在一定条件下，可以发生卤代反应生成卤代烃。烯烃或炔烃能与卤素、卤化氢在一定条件下发生加成反应获得卤代烃。醇与氢卤酸的取代反应，也可生成卤代烃。

请你从多个角度比较分析，为什么醇与氢卤酸的取代反应是实验室或工业中最重要、最常用的合成卤代烃的方法？

在一定条件下，醇可以发生脱水反应。实验表明，在不同的反应条件下，醇脱水可以得到不同的产物，醇既可分子内脱水得到烯烃，也可分子间脱水得到醚。

实验探究



乙醇的脱水反应

【实验】组装如图4-4所示装置，在圆底烧瓶中加入5 mL乙醇和15 mL浓硫酸，放入几片碎瓷片，加热，使混合溶液的温度迅速升到170 ℃，观察实验现象。

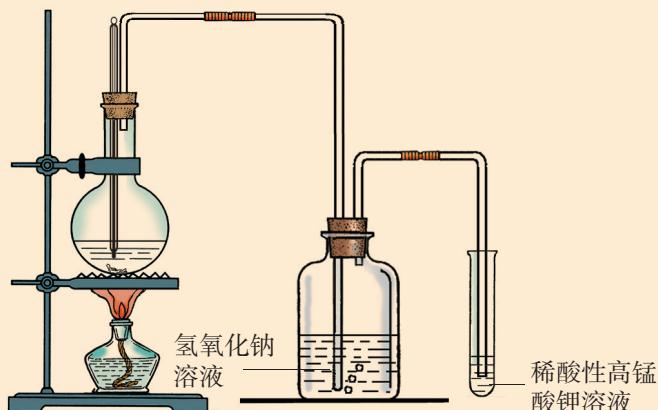


图 4-4 乙醇脱水实验装置

经过探究，你能判断出乙醇所发生的反应是什么类型吗？

乙醇可以在浓硫酸、磷酸、 Al_2O_3 （400 ℃左右）或 P_2O_5 等催化剂的作用下发生脱水反应。实验室中经常采用乙醇和浓硫酸共热发生脱水反应来获得乙烯或乙醚。



可以看出，乙醇脱水生成乙烯的反应是乙醇分子内脱去一个水分子，同时生成不饱和有机化合物。在一定条件下，一个有机化合物分子内脱去一个或几个小分子生成不饱和化合物分子（含双键或三键）的反应，称为**消去反应**（elimination reaction）。



跨学科链接

乙醚为医用麻醉作出了重要贡献

外科手术离不开麻醉。麻醉的原意是用药物或其他方法，使病人整个机体或机体的一部分暂时失去感觉，以达到无痛的目的。中国最早关于麻醉药物的记载是2 000年前扁鹊用麻醉药物进行手术。在西方，古希腊人用葡萄酒加乳香等制成饮料产生麻醉作用。直到18世纪前后，随着工业革命和化学研究



的发展，化学家普利斯特里（J. Priestley）发现了一氧化二氮（ N_2O ），它很快被用于牙科麻醉，该麻醉剂多采用一氧化二氮和20%氧气的混合气体。

1818年，化学家法拉第发现当乙醚蒸气和空气混合后，人会出现酒醉和沉睡的现象，与先前发现的一氧化二氮作用相似。但因乙醚具有易燃、易爆性，人们普遍认为其在医学中的使用是危险的，当时未应用于临床。不久，有人发现吸入乙醚后像醉汉一样跌倒受伤的受试者中无一诉说存在疼痛，据此推测乙醚可作为麻醉药。1846年，美国医生摩尔顿（W. T. G. Morton）用吸入乙醚方式麻醉了一名患者，并切除其下颌的肿瘤，摩尔顿成为乙醚麻醉术的第一个演示者，由此，麻醉学科正式创立。

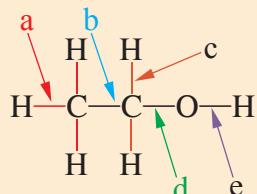
麻醉剂从第一代一氧化二氮、乙醚等到第二代乙烯醚、环丙烷，一直存在易燃、易爆、不良反应的毒副作用等问题。20世纪50年代后，化学家在乙醚基础上发明了氟代醚，这是不易燃的吸入式麻醉药，但也存在一定的毒副作用。研制新型的、毒副作用更低的特异性麻醉药，仍是当今化学药物研究的一大课题。

从上述醇的一系列反应可知，醇所表现的特殊的化学性质主要体现在羟基官能团上。进一步根据微观结构分析还可发现，醇的化学反应主要由分子中的O—H和C—O断裂引起。



学以致用

观察乙醇的结构式：



总结乙醇所能发生的化学反应。想一想，发生反应时乙醇分子中的哪些化学键会发生断裂？请将你的想法填入下表。

	乙醇发生反应的化学方程式	反应类型	断裂的共价键
①			
②			
③			
④			

醇的重要应用

乙醇是最常见的醇，它在生产、生活中的用途十分广泛，既是一种重要的有机溶剂，又是常用的燃料。此外，乙醇还是重要的有机化工原料，作为基础物质广泛应用于有机化合物的合成中。

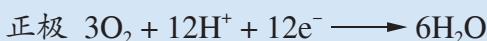
甲醇（methanol）是一种常见的醇，起初来源于木材的干馏^①，俗称木精或木醇，是无色透明的液体。甲醇有剧毒，误饮少量即会致眼睛失明甚至致人死亡。甲醇可用作燃料，在能源工业领域有着十分广阔的应用前景。



拓展视野

直接甲醇燃料电池

直接甲醇燃料电池（DMFC）由甲醇负极、氧正极和质子交换膜构成。在催化剂作用下甲醇被氧化为水和二氧化碳。甲醇用完后，只要补充甲醇就可以继续使用。电池工作时正极和负极的电极反应可表示为：



直接甲醇燃料电池具备低温快速启动、燃料洁净环保以及电池结构简单等优点，可作为笔记本电脑、汽车等的能量来源。

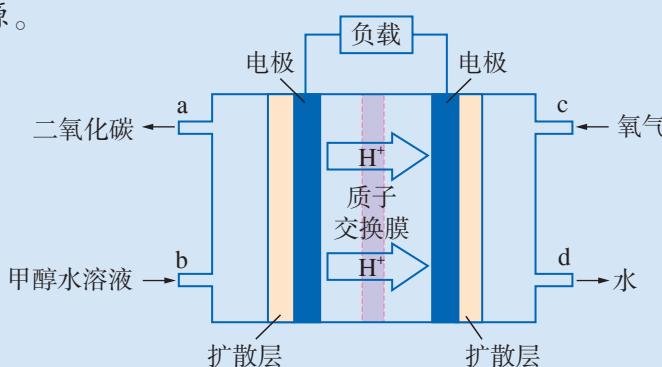


图 4-5 甲醇燃料电池的工作原理



图 4-6 DMFC 用于汽车动力

根据醇分子中含有的羟基数目，可以将醇分为一元醇、二元醇、三元醇等。分子中含有两个或两个以上羟基的醇又称为多元醇^②。

① 将木材隔绝空气加强热。

② 分子中同一个碳原子连接两个或两个以上羟基的有机化合物不稳定。



乙二醇是一种无色、黏稠、有甜味的液体，主要用来生产聚酯纤维。乙二醇的水溶液凝固点很低，可作汽车发动机的抗冻剂。



图 4-7 乙二醇作汽车发动机的抗冻剂



图 4-8 乙二醇和丙三醇的结构简式

丙三醇俗称甘油，是无色、黏稠、有甜味的液体，吸湿性强，有护肤作用，是重要的化工原料。



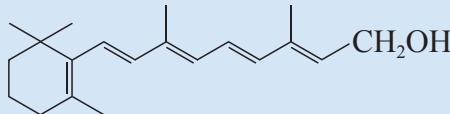
生活向导

维生素A的功用

维生素A是一元醇，包括维生素A₁、维生素A₂两种。维生素A₁又称视黄醇，脱去两个氢原子转化为维生素A₂。维生素A₂的活性比较低，所以通常所说的维生素A就是指维生素A₁。维生素A是人体必需的维生素，与视觉系统关系密切。人体缺少维生素A，易患夜盲症、干眼症等眼疾。维生素A属于脂溶性维生素，在鱼肝油中含量较高。此外，胡萝卜、番茄等蔬菜中含有的胡萝卜素，在人体内可以转变成维生素A，食用这类食物也可以补充维生素A。



图 4-9 可以补充维生素A的蔬菜

图 4-10 维生素A₁的结构

醇类不仅可以与羧酸作用形成酯，而且可以与无机含氧酸作用生成酯。丙三醇与硝酸发生反应生成的三硝酸甘油酯是一种烈性炸药，俗称硝化甘油。硝化甘油是一种黄色的油状透明液体，这种液体受到震动会发生爆炸。同时，硝化甘油也可用作心绞痛的缓解药物。



科学史话

硝化甘油与诺贝尔奖

在17世纪以前，世界上唯一的炸药是火药。1847年，意大利化学家索布雷罗（A. Sobrero, 1812—1888）发现用硝酸和硫酸处理甘油得到一种黄色的油状透明液体，该液体在碰撞、震动时易爆炸，这就是硝化甘油。索布雷罗在提纯该物质时发生爆炸，他退却了，虽然仍有许多化学家“前仆后继”，结果也是一次次失败。

一位瑞典化学家没有被强烈的爆炸吓倒，在多次失败的基础上改进工艺，用多孔性的固体硅藻土吸收硝化甘油，终于获得了爆炸威力大且又安全的炸药。硝化甘油为他带来巨大的财富，他就是后来成了“欧洲最富有的人”（法国大文豪雨果语）的诺贝尔。诺贝尔希望他的发明能促进人类生产，但事与愿违，炸药被用于战争。为此，诺贝尔在生前立下遗嘱，用这笔财富设立了诺贝尔和平奖、化学奖、物理学奖、文学奖、生理学或医学奖，在1901年12月10日诺贝尔逝世5周年时首次颁奖。

炸药厂的工人在偶然中发现，硝化甘油能缓解心血管疾病，其原理是扩张了心脏冠状血管，增加心肌供血供氧。为避免硝化甘油的爆炸，药学家将其与惰性化合物混合制成药剂。100多年来，硝化甘油始终是医生用来有效扩张冠状动脉、治疗心绞痛的首选药物，拯救了无数人的生命，在另一个领域造福人类。

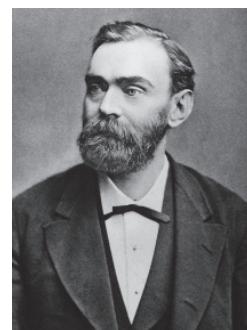


图 4-11 诺贝尔
(A. B. Nobel, 1833—1896)

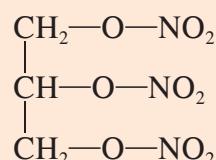


图 4-12 硝化甘油的结构简式



酚的性质及应用

分子中羟基与苯环（或其他芳环）

碳原子直接相连的有机化合物属于酚

（phenol）。最简单的酚是苯酚，其分子式为 $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$ ，结构简式见图4-14，可简写为 $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ 。苯酚有毒，其浓溶液对皮肤有强烈的腐蚀性，会对皮肤产生强烈的灼伤，使用时一定要小心。如果不慎将苯酚沾到皮肤上，应立即用酒精洗涤，再用水冲洗。

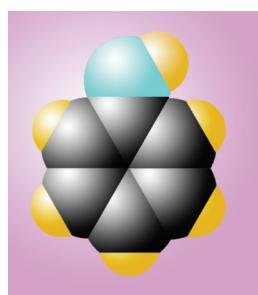


图 4-13 苯酚分子的空间填充模型

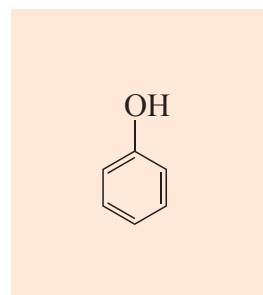


图 4-14 苯酚的结构简式



实验探究

1. 完成下列实验，仔细观察实验现象，特别注意苯酚在不同条件下的溶解情况。

【实验1】观察苯酚的颜色、状态，闻一闻苯酚的气味。

【实验2】在试管中加入少量水，逐渐加入苯酚晶体，不断振荡试管。继续向上述试管中加入苯酚晶体至有较多晶体不溶解，不断振荡试管，静置片刻。

【实验3】将上述试管放在热水浴中加热。从热水浴中拿出试管，冷却静置。

【实验4】将苯酚晶体分别加入苯和煤油中，并与实验2作比较。

2. 填写下表，归纳苯酚的主要物理性质。

实验	实验现象	结论
实验1		
实验2		
实验3		
实验4		
苯酚的物理性质：		

常温下，纯净的苯酚是一种无色晶体，熔点为40.9℃。从试剂瓶中取出的苯酚晶体往往会因为部分被氧化而略带红色。常温下，苯酚能溶于水并与之相互形成溶液（苯酚与水形成的浊液静置后会分层，上层是溶有苯酚的水层，下层是溶有水的苯酚层）。当温度高于65℃时，苯酚能与水以任意比例互溶。



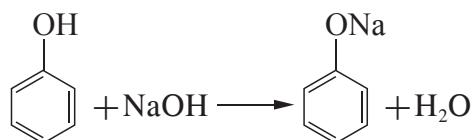
实验探究

完成下列实验，思考有关问题。

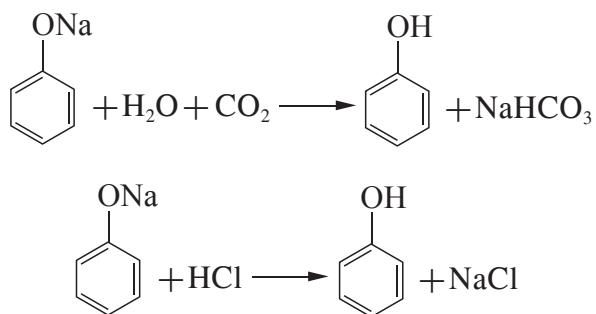
1. 取苯酚的浊液2mL于试管中，向其中逐滴加入氢氧化钠溶液，浊液将变澄清。将得到的澄清液分到两支试管中，向其中一支滴加稀盐酸，另一支通入二氧化碳气体，观察实验现象。

2. 将你在实验中发现的问题与同学交流，用简洁的语言表述你对苯酚酸性的认识。

苯酚是一种酸性比碳酸还弱的酸，它能与氢氧化钠溶液反应生成苯酚钠和水。苯酚钠易溶于水，所以向苯酚的浊液中加入氢氧化钠溶液后，溶液变澄清。



向苯酚钠溶液中通入二氧化碳或者加入稀盐酸，又会生成苯酚。



基础实验

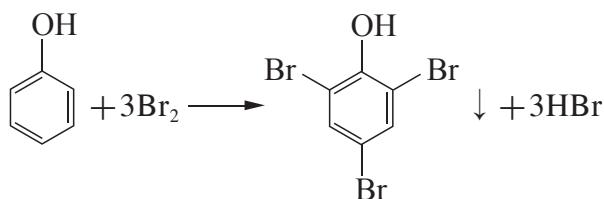
苯酚的检验

- 向稀苯酚溶液中滴加少量浓溴水，观察实验现象。
- 根据实验现象，你能推测出该反应是取代反应还是加成反应吗？请设计探究方案证明你的推测，并进行探究活动。

下面的探究活动可能对你获得正确的探究结果有帮助，供选用。

- 测定反应前后溶液的导电性变化。
- 用pH试纸或pH计测定反应前后溶液的pH。
- 查阅有关资料。

苯酚与溴水反应生成白色不溶于水的2,4,6-三溴苯酚。该反应能够定量完成，常用于对溶液中的苯酚进行定性和定量测定。



向含有苯酚的溶液中加入三氯化铁溶液，溶液呈现紫色，这是苯酚的显色反应，其他的酚类物质也会发生类似的反应。该显色反应非常灵敏，常用于酚类物质的检验。



调查研究

苯酚是日常生活中常用的有机化合物，也是重要的化工原料，以苯酚为原料可以制造合成纤维、药物、农药、合成香料、染料等。请查阅有关苯酚用途的资料，与同学交流。

苯酚是重要的化工原料，大量用于制造酚醛树脂、环氧树脂等高分子材料。苯酚也可用作防腐剂和消毒剂。许多酚类化合物都具有杀菌能力，邻甲苯酚、间甲苯酚、对甲苯酚三者的混合物统称为甲酚（ C_7H_8O ），甲酚的肥皂溶液俗称“来苏儿”，易溶于水，是医院常用的杀菌剂。



生活向导

茶多酚

茶多酚(tea polyphenols)是茶叶中30多种多元酚类物质的总称。在茶多酚总量中，儿茶素（结构见图4-15）占50%~70%，它是决定茶叶色、香、味的重要成分。从茶叶中提取的茶多酚是一种优良的天然抗氧化剂，现已被开发为食品保鲜剂、祛臭剂等，以及用于化妆品的抗氧化剂、防腐剂、防皱剂、皮肤增白剂、防晒剂等。

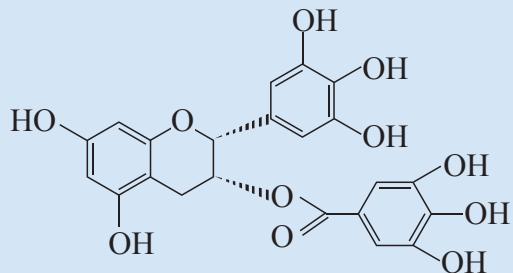


图 4-15 儿茶素的结构

茶多酚还具有降血压、降血脂、抗血凝、抗衰老、减肥、预防动脉粥样硬化和血栓形成、增强免疫机能等功能，可防治心血管病、糖尿病、肝炎、脂肪肝及胃肠道、呼吸道等疾病。

影响茶叶中茶多酚含量的因素很多。新的嫩茶中茶多酚含量最高，老叶、茎中含量较低；夏茶中含量最高，秋茶次之，春茶最低，似与气温高、光照强或光照时间长有关；随茶树栽种地区海拔增加，茶多酚含量降低；茶叶加工中随着发酵度增大，茶多酚含量降低，绿茶中茶多酚含量一般比白茶、红茶高。需要说明的是，茶多酚含量并不代表茶叶的品质。

大多数酚类化合物有毒，在炼油、煤加工和药物、油漆、橡胶等生产过程排放的废水中含有较多的酚类物质。因此，酚类物质被列为须重点控制的水污染物之一。在含酚废水中，以苯酚、甲酚的污染最为突出。饮用水中如果含有微量的酚，就会产生难闻的气味；鱼塘的水中如果含有很少的酚（ $0.1\sim0.2\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ），就会使鱼肉带有酚的气味，浓度再高，鱼类就会死亡。

实验探究



下列活动能帮助我们了解处理含酚废水的方法。

1. 完成下列实验。

【实验1】酚类物质可以用 FeCl_3 溶液检验。向盛有苯酚溶液的试管中滴入几滴 FeCl_3 溶液，振荡，观察现象。将苯酚溶液用水稀释10倍后，重复上述实验。将稀释后的苯酚溶液再用水稀释10倍后，重复上述实验。

【实验2】向9 mL含有苯酚的废水中滴加几滴 FeCl_3 溶液，将所得溶液分置于3支试管中，第一支试管中加入约1 mL苯，第二支试管中加入少量活性炭，振荡后静置，并与第三支试管对照，观察实验现象。

【实验3】向4 mL含有苯酚的废水中加入约2 mL苯，振荡后静置分层。用长滴管吸取上层苯于另一支试管中，再向该试管中滴加几滴 FeCl_3 溶液，振荡后静置，观察实验现象；向剩余水层再滴入几滴 FeCl_3 溶液，观察溶液颜色的变化，并与含苯酚废水中仅滴加 FeCl_3 溶液时形成颜色对照。

2. 填写下表。

实验	实验现象	结论
实验1		
实验2		
实验3		

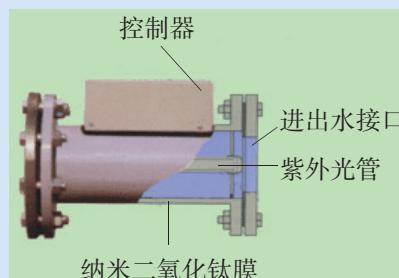
含苯酚的废水对环境的危害非常严重且污染不易清除，因此要严格控制这类废水进入环境。处理含酚废水主要有两种方法：回收利用和降解处理。一般而言，含酚量在 $1\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 以上的废水应考虑酚的回收，可采用萃取、活性炭吸附等物理方法；废水含酚浓度低时主要采用氧化和微生物处理等方法，如常用二氧化氯、臭氧等进行氧化，或用含有大量微生物的活性污泥对废水中的苯酚进行氧化分解等。苯酚污染水源后需较长时间治理，企业必须在污水处理达到国家标准后方可排放。



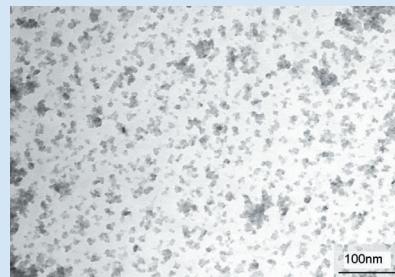
拓展视野

用纳米二氧化钛处理含酚废水

用纳米二氧化钛(TiO_2)粉末，在太阳光(或紫外光)照射下，可以催化降解多种有机化合物。这是一项新型的含酚废水处理技术，实用效果明显，没有二次污染，成本低廉。在多云到阴的天气条件下，光照12小时，含苯酚 $4.3\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的废水可全部转化为无毒的物质。



纳米二氧化钛光催化污水处理设备

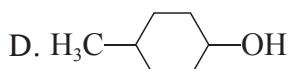
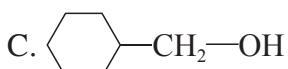
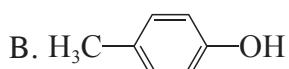
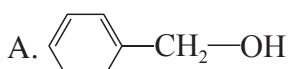


纳米二氧化钛固定膜

图 4-16 含酚废水的处理

理解应用

1. 下列化合物中，属于酚类的是()



2. 下列叙述正确的是()

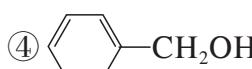
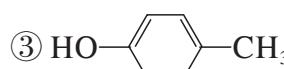
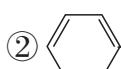
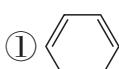
A. 用 FeCl_3 溶液可以区别乙醇、甲苯与苯酚三种溶液

B. 苯酚沾到皮肤上应立即用氢氧化钠溶液擦洗

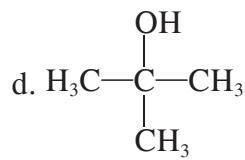
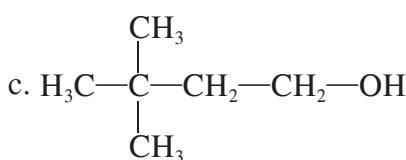
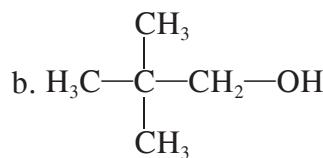
C. 除去苯中少量苯酚的方法是向其中加入溴水，充分反应后过滤

D. 在苯酚浊液中加入 Na_2CO_3 溶液，苯酚浊液变澄清并产生 CO_2 气体

3. 下列物质中，能够与 NaOH 溶液发生反应的是_____，能够与溴水发生反应的是_____。(填序号)



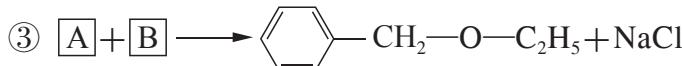
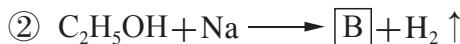
4. 有下列四种物质：



能被氧化生成醛或酮的有_____，依次写出氧化产物的结构简式：_____。

5. 已知： $\text{R}_1-\text{X}+\text{R}_2-\text{ONa} \longrightarrow \text{R}_1-\text{O}-\text{R}_2+\text{NaX}$ 。

某课外研究小组拟合成 $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{C}_2\text{H}_5$ （乙基苯基醚），采用如下两条路线进行对比：



请回答下列问题。

(1) 路线 I 的主要副产物有_____、_____。

(2) A 和 B 的结构简式分别为_____、_____。

(3) 比较两条合成路线的优缺点：_____。

(4) 苯甲醇的同分异构体中含有苯环的还有_____种。

6. 0.94 g 某有机化合物在纯氧中完全燃烧，仅生成 2.64 g 二氧化碳和 0.54 g 水。经测定，该有机化合物的相对分子质量为 94，试回答以下问题。

(1) 推断该有机物的分子组成，并说明理由。

(2) 实验证实，该有机物中滴加三氯化铁溶液显紫色。请写出该有机化合物分子的结构简式。



第二单元 醛 羧酸



图 4-17 含有香草醛的兰花

自然界广泛存在醛(aldehyde)和羧酸(carboxylic acid)。许多植物中含有醛，其中有些具有特殊香味，如香草醛、龙葵醛、紫苏醛、百合醛、洋茉莉醛等可制作香料。食用醋中含有的醋酸属于羧酸，食物中的重要营养物质油脂以及肥皂中含有的高级脂肪酸盐则是由羧酸形成的酯和盐。醛和羧酸是生活中常见的有机化合物，也是非常重要的工业原料，在合成纤维、医药、染料等行业有着重要的应用价值。



目标预览

通过本单元内容的学习，要求同学们努力达到：

以乙醛为代表认识醛类物质的结构，通过实验方法探究乙醛的化学性质；比较醛与酮官能团的差异，能依据官能团预测同系物在一定条件下可能发生的化学反应，能列举醛类、酮类物质的重要应用；以乙酸为代表认识羧酸的结构，通过实验方法探究乙酸的化学性质，能列举羧酸类物质的重要应用；能对醛、酮、羧酸及其制备的物质对环境的影响进行评估。



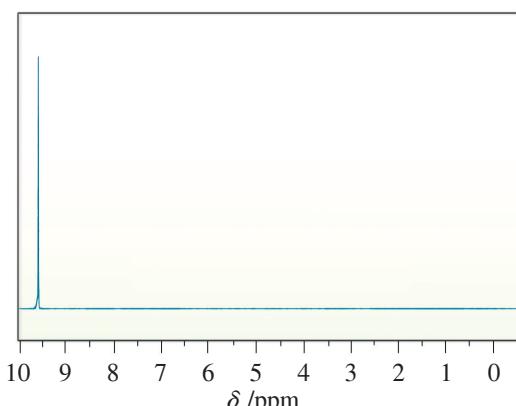
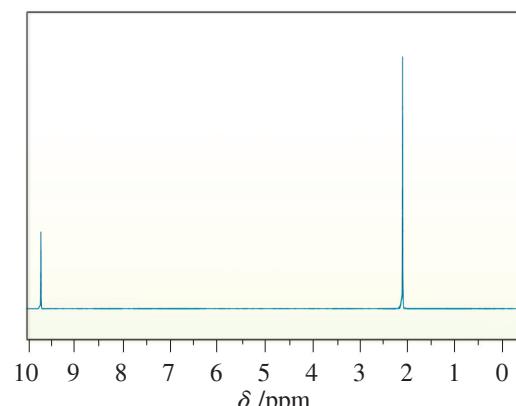
醛的性质和应用



温故知新

我们已经学过，乙醇在催化剂的作用下可以被氧气氧化，生成具有特殊气味的乙醛(C_2H_4O)。你能描述醛的结构特点吗？

图4-18是甲醛和乙醛的 1H 核磁共振谱图，请尝试写出甲醛和乙醛的结构式。

甲醛的¹H核磁共振谱图乙醛的¹H核磁共振谱图图 4-18 甲醛和乙醛的¹H核磁共振谱图

甲醛 (methanal) 和乙醛 (ethanal) 都有刺激性气味，它们的沸点分别为-21 ℃和20.8 ℃，在水中的溶解度都较大。甲醛能使蛋白质凝固，其水溶液常用作消毒剂和防腐剂。35%~40%的甲醛水溶液俗称“福尔马林” (Formalin)，可用于农作物种子的消毒及动物标本的保存。含8~13个碳原子的醛具有果香味，可用作香料工业的原料。

从分子结构上考察，甲醛和乙醛分子中都存在醛基 (如图4-19、图4-20)。醛基中的碳原子与氧原子通过碳氧双键相互连接，其中碳原子再与一个氢原子相连则构成醛基。醛基以及与醛基直接相连的原子处于同一平面。例如，甲醛分子中的4个原子就处于同一平面 (如图4-19)。

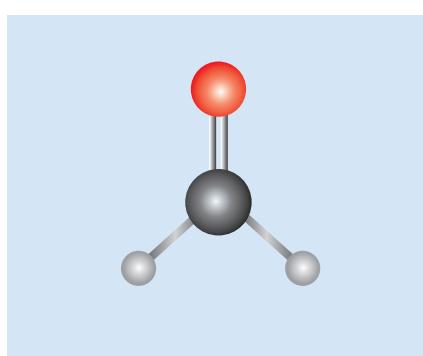


图 4-19 甲醛分子的球棍模型

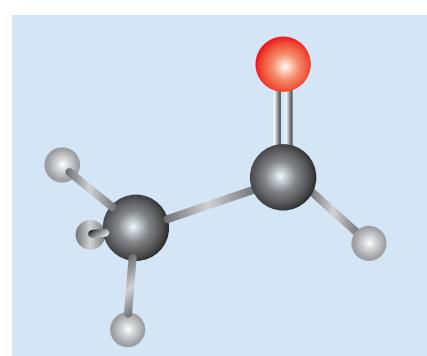


图 4-20 乙醛分子的球棍模型

醛的性质及检验

基础实验



为了认识醛的性质，我们以乙醛为例进行探究。

1. 完成下列实验。

【实验1】向洁净的试管中加入1 mL 2%的AgNO₃溶液，边振荡试管边逐滴加入2%的稀氨水，至产生的沉淀恰好完全溶解，再滴入3滴乙醛，振荡后把试管放在热水浴中加热，观察实验现象。

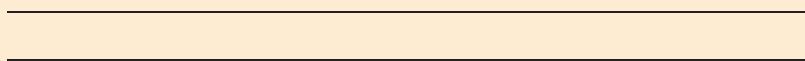


【实验2】向试管中加入3 mL 5%的NaOH溶液，滴入3~4滴2%的CuSO₄溶液，振荡后加入0.5 mL乙醛溶液，加热，观察实验现象。

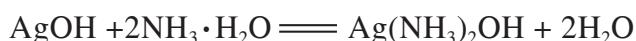
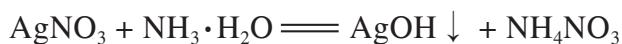
2. 记录实验现象，并解释产生上述现象的原因，写出化学方程式。

实验	实验现象	原因
实验1		
实验2		

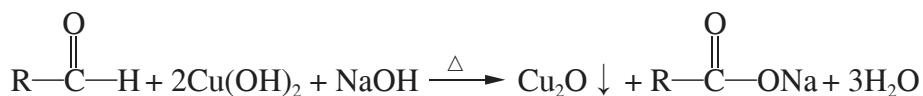
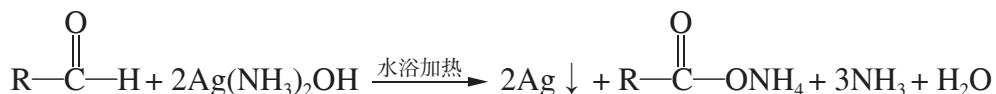
化学方程式：



向硝酸银溶液中逐滴加入稀氨水能够配制银氨溶液^①。银氨溶液常用于检验醛基的存在。



乙醛能够与银氨溶液发生银镜反应，还能在碱性条件下与新制的氢氧化铜悬浊液反应，这是因为其分子结构中存在醛基，反应中醛被氧化为羧酸后，与碱反应形成羧酸盐。下列两个反应是醛类的特征反应。



批判性思维

为什么银镜反应的条件一般要控制在弱碱性范围内？如果反应条件为酸性或弱酸性，实验结果将如何？请查阅文献并设计实验进行探究，提出你的观点和结论。

① 银氨溶液的配制方法：取2%的硝酸银溶液于试管中，在不断振荡试管的同时向试管中滴加2%的稀氨水，直至产生的沉淀恰好完全溶解。

在工业生产中，常采用催化氧化的方法用氧气直接氧化醛，可得到相应的羧酸。醛既能被氧化，又能被还原。例如，在加热、加压和有催化剂（如Ni、Pt）存在的条件下，醛可以和氢气发生加成反应，生成醇。



调查研究

甲醛是醛类中最简单的醛，俗称蚁醛。请查阅有关资料，了解生活中甲醛的主要来源、可能的危害及甲醛污染的处理方法，并将你所了解的情况与同学交流、讨论。

甲醛作为高聚物的基础原料，常用于合成酚醛树脂、脲醛树脂、维纶、染料等。

酚醛树脂（phenolic resin）是人类合成的第一种高分子材料，至今仍被广泛使用。在浓盐酸（或浓氨水）的催化下，甲醛分子中的氧原子与苯酚分子中羟基邻位或对位上的氢原子结合生成水，其余部分形成高分子化合物。像这种由有机化合物分子间脱去小分子获得高分子化合物的反应，称为**缩聚反应**（condensation polymerization reaction）。

在浓氨水催化下，主要得到体型酚醛树脂，体型酚醛树脂是热固性的；在浓盐酸催化下，主要得到线型酚醛树脂，线型酚醛树脂是热塑性的。线型酚醛树脂的合成反应如下：

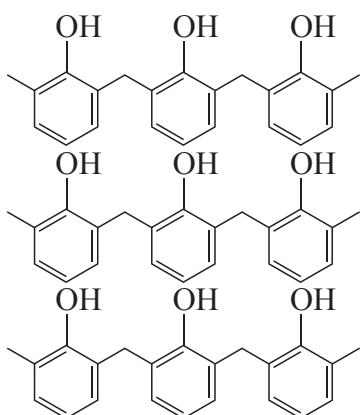
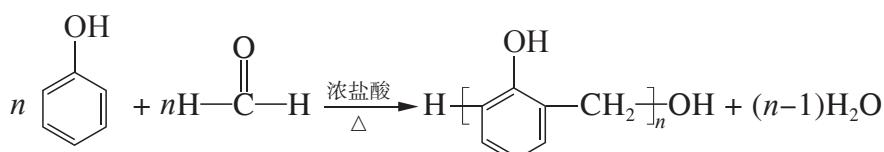


图 4-21 线型酚醛树脂的结构简式片段

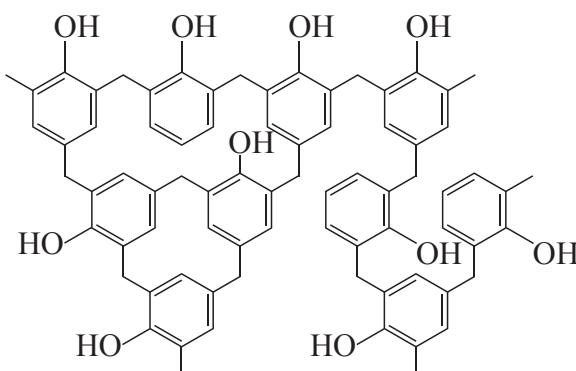


图 4-22 体型酚醛树脂的结构简式片段

尿素与甲醛在一定条件下也能发生缩聚反应生成高分子材料脲醛树脂（urea-formaldehyde resin）。脲醛树脂可以制成热固性高分子黏合剂，它广泛应用于胶合板、人造纤维板、刨花板和木地板等木材加工业。



酚醛树脂产品



脲醛树脂产品

图 4-23 酚醛树脂、脲醛树脂的产品



拓展视野

酚醛树脂的制备

- 合成线型酚醛树脂：取一支试管，加入2.5 g苯酚、2.5 mL 40%甲醛溶液，再加入2 mL浓盐酸，振荡、混匀，塞上带玻璃导管的橡胶塞，置于沸水浴中加热5~8 min。将试管从水浴中取出，把生成物倒入培养皿中，观察生成物的颜色和状态。
- 合成体型酚醛树脂：取一支试管，加入2.5 g苯酚、3.5 mL 40%甲醛溶液，再加入2 mL浓氨水，振荡、混匀，塞上带玻璃导管的橡胶塞，置于沸水浴中加热5~8 min。将试管从水浴中取出，把生成物倒入培养皿中，观察生成物的颜色和状态。
- 实验完毕应及时清洗试管。如果不易洗涤，可以加入少量乙醇浸泡几分钟，然后清洗。

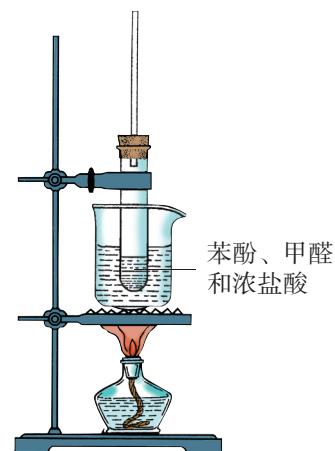


图 4-24 酚醛树脂的制备装置

如果羰基碳原子上连接的两个基团都是烃基，则得到一类新的有机化合物——**酮**。最简单的酮是丙酮（C₃H₆O），其分子结构为羰基碳原子上连着两个甲基（如图4-25）。图4-27为丙酮的¹H核磁共振谱图。

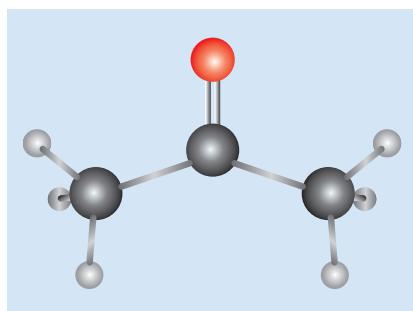


图 4-25 丙酮分子的球棍模型

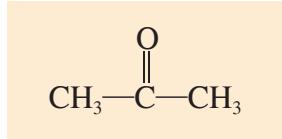
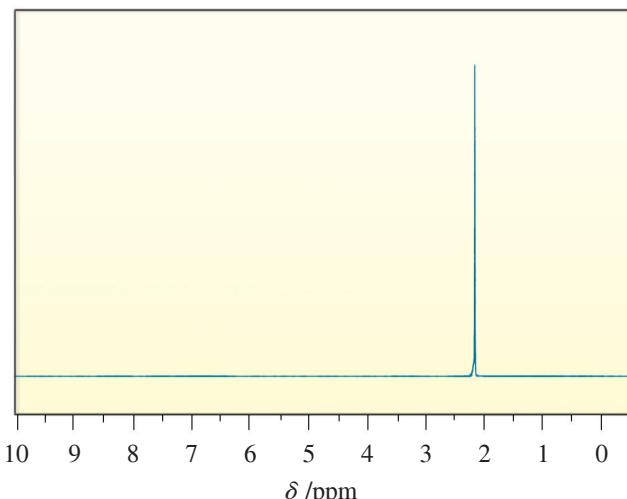


图 4-26 丙酮的结构简式

图 4-27 丙酮的¹H核磁共振谱图

批判性思维



丙酮分子中最多有几个原子共平面？分别是哪些原子？为什么丙酮的¹H核磁共振谱图仅出现一个信号峰？

丙酮是常用的有机溶剂。丙酮用途广泛，主要用于制备重要化工原料双酚A（C₁₅H₁₆O₂）和制备有机玻璃。

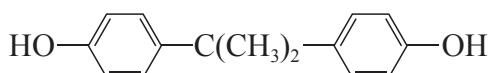


图 4-28 双酚A的结构简式



拓展视野

双酚A的用途

双酚A（也称BPA）的用途非常广泛，主要用于生产聚碳酸酯（PC）、环氧树脂等高分子材料。聚碳酸酯可用于制造CD光盘、太阳镜、餐具等；环氧树脂具有优良的物理机械和电绝缘性能，以及与各种材料的黏接性能，因此它能制成模压材料、涂料、复合材料、胶黏剂等。

双酚A也可用于生产增塑剂、阻燃剂、抗氧化剂、热稳定剂、橡胶防老化剂、农药等化工产品。在塑料制品生产中添加双酚A，可使其具有无色透明、耐用、轻巧和抗撞击等特性。双酚A大量应用于生活塑料制品中，如饮用水瓶、食品罐头、饮料包装等，也常用作补牙填充物的密封胶。



目前，双酚A对健康的影响已成为公众关注的焦点。虽然包括中国在内的绝大多数国家仍在使用含双酚A的塑料容器，但各国已先后下令禁止在婴儿奶瓶等食品和饮料容器中使用双酚A，我国也于2011年颁布禁令。

环己酮 ($C_6H_{10}O$) 也是一种常见的酮，常作为生产合成纤维、合成树脂、合成橡胶、石蜡、虫胶、油漆、染料和制药中间体的溶剂，还可用于制备己二酸和己内酰胺，它们都是生产聚酰胺纤维的重要原料。

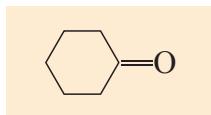


图 4-29 环己酮的键线式



图 4-30 聚酰胺纤维产品

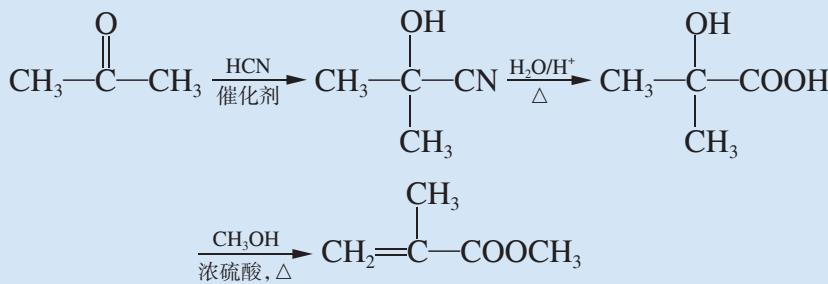
拓展视野

有机玻璃的合成与用途

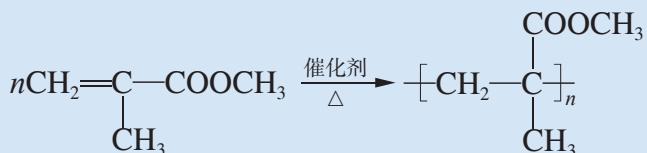
有机玻璃 (polymethyl methacrylate, 缩写PMMA) 是一种重要的热塑性塑料。有机玻璃分为无色透明、有色透明、珠光和压花等四种类型。有机玻璃具有较好的透明性、化学稳定性和力学性能，易加工，外观优美。有机玻璃用途极广，在装饰行业用得最多，也被广泛用于仪器仪表零件、汽车车灯、光学镜片和透明管道等的制造。

目前使用较多的有机玻璃是聚甲基丙烯酸甲酯，其单体为甲基丙烯酸甲酯（如图4-31），可通过丙酮在催化剂作用下与氰化氢（HCN）发生加成反应，再经过水解、消去和酯化反应得到。

具体的转化过程如下：



最后，通过加聚反应制得聚甲基丙烯酸甲酯。



羧酸的性质及应用

我们都有这样的生活经验，在吃一些食物时常常会感觉到较浓的酸味，这是因为在这些食物中含有柠檬酸、苹果酸、酒石酸（存在于葡萄中）、乳酸等有机酸，它们的分子中都含有羧基。



生活向导

食物中常见的有机酸

食物中常见的几种有机酸的名称和结构简式见图4-32。

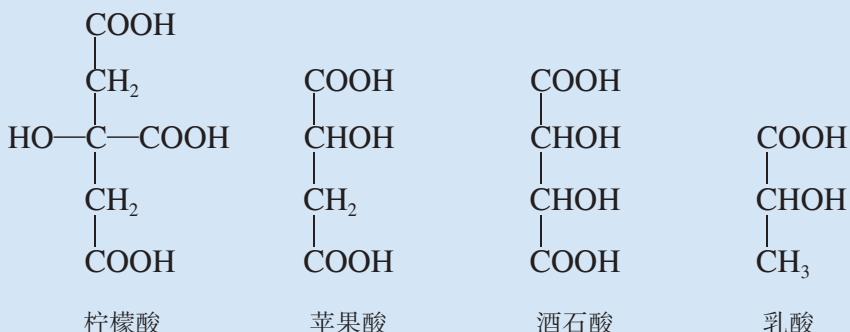


图 4-32 食物中常见的有机酸

除了上述大量存在的脂肪族有机酸外，水果中一般还含有各种芳香族有机酸。苯甲酸和水杨酸是两种最常见的芳香族有机酸。此外，在食品烹调和加工中为增加酸味常使用酸味剂，主要有醋酸、乳酸、酒石酸、苹果酸、柠檬酸等，酸味能给人以爽快、刺激的感觉，具有增强食欲的作用。

上述有机物为什么具有酸性？这与羧酸的分子结构有关。分子中羟基（或氢原子）与羧基（如图4-33）相连的化合物属于**羧酸**。人们最熟悉的羧酸是乙酸（acetic acid），俗称醋酸，它的分子式为 $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ ，结构式见图4-34，结构简式为 CH_3COOH 。

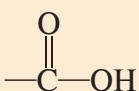


图 4-33 羧基的结构

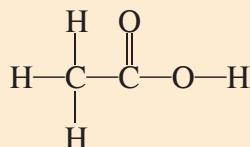


图 4-34 乙酸的结构式

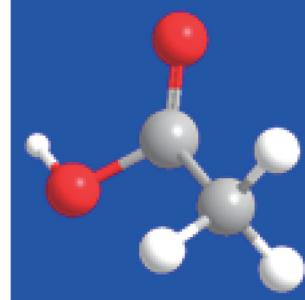


图 4-35 乙酸分子的球棍模型



方法导引

羧酸的分类

根据与羧基连接的烃基类别的不同，可将羧酸分为脂肪酸和芳香酸。

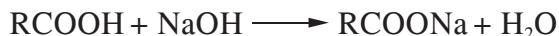
根据烃基的饱和程度不同，通常脂肪酸又可分为饱和脂肪酸与不饱和脂肪酸。分子中含碳原子数较多的脂肪酸称为高级脂肪酸，它们的酸性很弱，在水中的溶解度不大甚至难溶于水，如硬脂酸（ $C_{17}H_{35}COOH$ ）、软脂酸（ $C_{15}H_{31}COOH$ ）、油酸（ $C_{17}H_{33}COOH$ ）、亚油酸（ $C_{17}H_{31}COOH$ ）等。

根据分子中含有羧基数目的多少，又可以将羧酸分为一元酸、二元酸、三元酸等。

羧酸羧基上的氢在水溶液中容易解离成 H^+ ，故羧酸表现出酸性。



羧酸可与氢氧化物作用，生成羧酸盐。



羧酸的酸性比碳酸强，可与碳酸钠或碳酸氢钠作用生成羧酸钠。



醇和酸在催化剂存在条件下，可以发生酯化反应，生成酯类化合物。



基础实验

乙酸乙酯的制备与性质

与同学合作，完成下列实验。

【实验1】向一支试管中加入3 mL乙醇，然后边振荡试管，边慢慢加入2 mL 98%的浓硫酸和2 mL冰醋酸，置于水浴中；向另一支试管中加入5 mL饱和碳酸钠溶液。如图4-36，用酒精灯小心加热3~5 min，产生的蒸气经导管通到饱和碳酸钠溶液的液面上方。

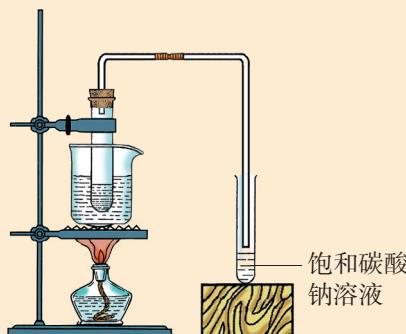
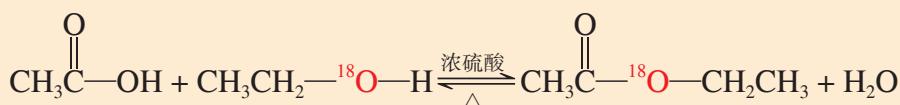


图 4-36 乙酸乙酯制备实验

【实验2】取实验1中生成的乙酸乙酯各1 mL于三支小试管中，向这三支试管中分别加入5 mL蒸馏水、5 mL稀硫酸和5 mL 30%的NaOH溶液，观察各试管中液体的分层情况。然后将三支试管同时放入相同温度的水浴中加热约5 min，取出试管，观察上层油状液体的厚度。

请仔细观察实验现象，思考下列问题：

- 在实验1的操作过程中，需要注意什么问题？
- 从实验2的现象中，你能得出什么结论？
- 乙酸和乙醇发生的酯化反应是可逆反应，请根据化学平衡移动原理设计增大乙酸乙酯产率的方法。
- 乙酸和乙醇在一定条件下可以发生酯化反应，在使用同位素示踪法研究该反应时发现了如下事实：



根据产物中¹⁸O的分布情况，请你判断反应过程中反应物共价键断裂的情况，对比乙酸乙酯发生水解反应时的共价键断裂情况，两者之间有何相似之处？

羧酸中碳原子数最少的是甲酸。甲酸又称蚁酸，它是无色、有刺激性气味的液体，沸点为100.5 ℃，熔点为8.4 ℃，可与水、乙醇等混溶。在饱和一元羧酸中，甲酸的酸性最强，并具有极强的腐蚀性。

甲酸的结构比较特殊，分子中的羧基和氢原子直接相连。因此，它既有羧基结构，又具有醛基结构。



批判性思维

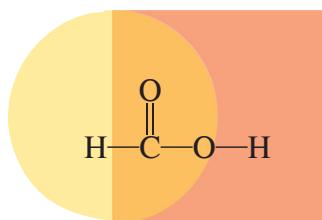


图 4-37 甲酸的结构式

请仔细观察甲酸的结构式，思考下面的问题。

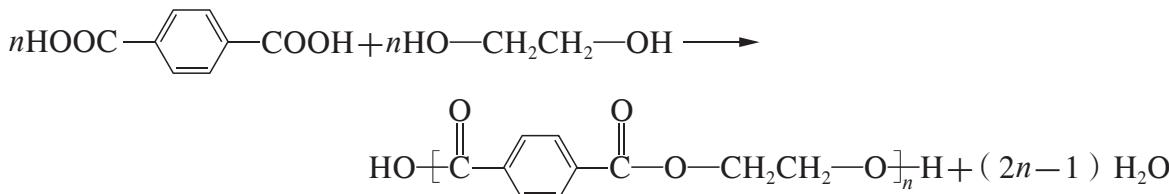
1. 请你预测甲酸可能具有的化学性质。将你的预测填入下表，写出相应的化学方程式。

预测可能发生的反应	化学方程式
①	
②	
③	

2. 请设计实验证明你对甲酸化学性质的预测。

除了甲酸、乙酸外，常见的羧酸还有乙二酸（草酸）、苯甲酸、对苯二甲酸等。

人们利用羧酸与醇的缩聚反应，可以得到高分子化合物。例如，对苯二甲酸与乙二醇发生缩聚反应，可生成高分子化合物聚对苯二甲酸乙二酯和水。



跨学科链接

酯化反应与高分子材料

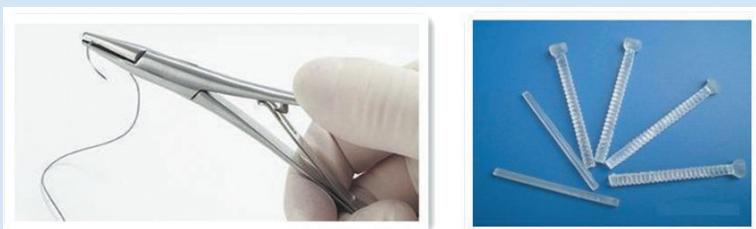
世界上产量最大的合成纤维是以对苯二甲酸和乙二醇为原料合成得到的聚对苯二甲酸乙二酯（PET），它是一种通过酯基结合形成的高分子材料。

PET是涤纶的主要成分，它可用作碳酸饮料瓶、矿泉水瓶，磁带和胶卷的片基，照片的保护膜，电器零部件和其他高强度涤纶材料等。



图 4-38 PET 的用途

乳酸分子中既存在羟基，又存在羧基。在乳酸杆菌的作用下，淀粉发酵转化成乳酸，乳酸缩聚即可得到聚乳酸（PLA）。在自然界中，PLA可以被微生物降解为二氧化碳和水，因而PLA能有效防止白色污染，是世界公认的环保材料。采用PLA材料制成的手术缝合线，无须拆线，可被人体自行吸收；用PLA制成的新型固定螺钉，可用于骨折接合手术，它在人体内保持3~6个月的固定状态后被人体逐渐吸收，且对人体无任何毒副作用。



PLA 手术缝合线

PLA 骨折固定件

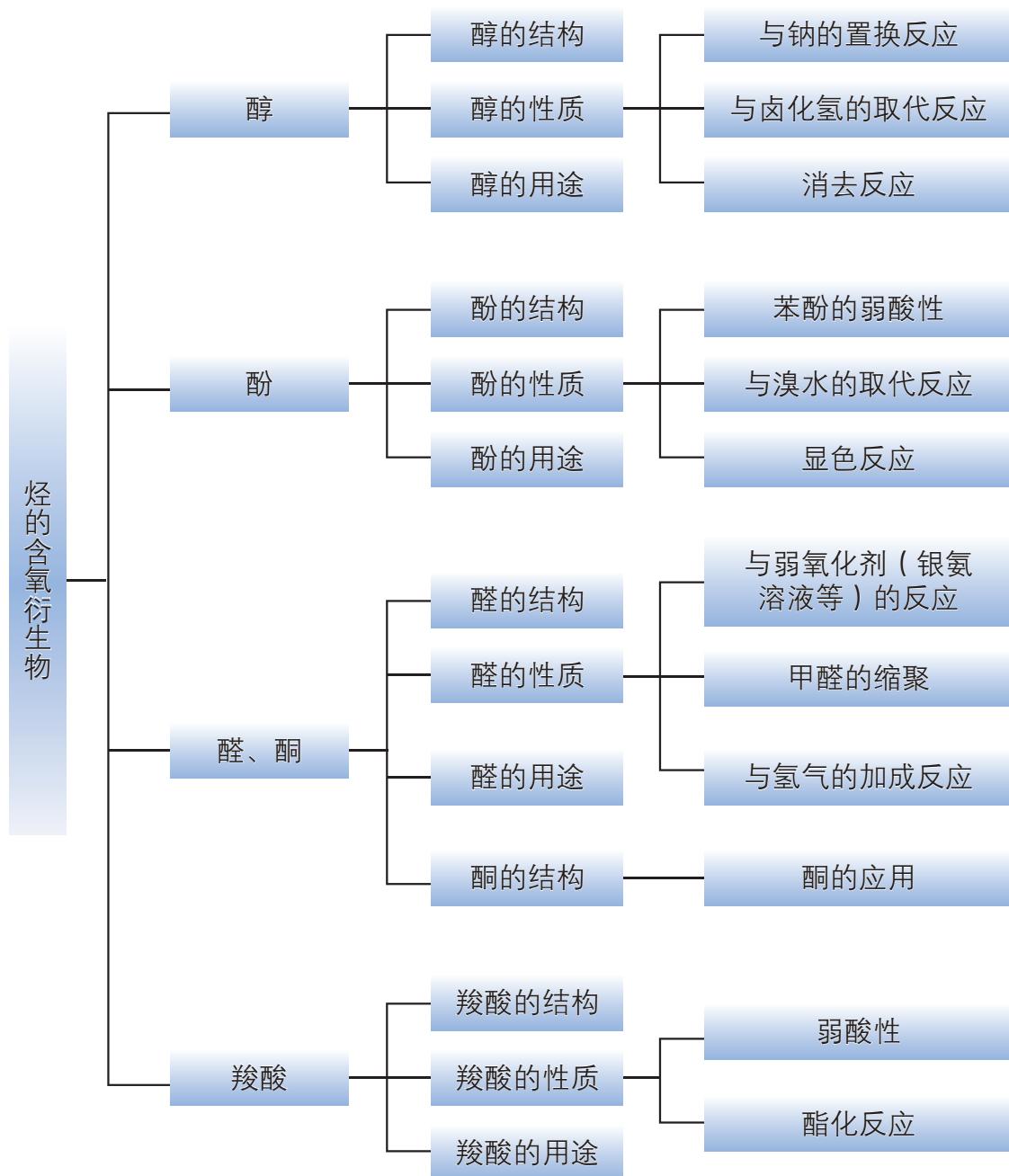
图 4-39 PLA 手术材料



理解应用

1. 某学生做乙醛还原性的实验，在一支试管内加入2 mL 1 mol·L⁻¹硫酸铜溶液和4 mL 0.4 mol·L⁻¹氢氧化钠溶液，混匀后加入0.5 mL 40%的乙醛溶液，加热至沸腾，无红色沉淀。实验失败的原因是（ ）
A. 氢氧化钠不足 B. 硫酸铜不足 C. 乙醛溶液太少 D. 加热时间不够
2. 苯甲酸（—COOH）和山梨酸（CH₃—CH=CH—CH=CH—COOH）都是常用食品防腐剂。下列关于这两种酸的叙述正确的是（ ）
A. 通常情况下，都能与溴水反应
B. 1 mol酸分别与足量氢气加成，消耗氢气的物质的量相等
C. 一定条件下都能与乙醇发生酯化反应
D. 1 mol酸分别与NaOH发生中和反应，消耗NaOH的物质的量不相等
3. 请设计实验区分乙醇、乙醛、乙酸三种物质的水溶液。
4. 相对分子质量为60的饱和一元醇氧化后生成A，A与新制氢氧化铜悬浊液水浴加热生成红色沉淀。写出A的结构简式及所涉及的化学方程式。
5. 写出下列反应的化学方程式。
 - (1) 丙醛发生银镜反应。
 - (2) 两分子乳酸脱去两分子水形成环状化合物。
 - (3) 对苯二甲酸和1,4-丁二醇(HOCH₂CH₂CH₂CH₂OH)作用形成高分子酯。
6. 某有机化合物A广泛存在于多种水果中。经测定，A的相对分子质量为134，A仅含碳、氢、氧三种元素，且分子中没有甲基。A既可以与乙醇发生酯化反应，又可以与乙酸发生酯化反应，且测得A与乙醇完全酯化所得有机产物的相对分子质量为190。试推断A可能的结构简式。

建构整合





回顾与总结



请参照下列问题或线索，回顾和总结本专题的学习内容。

- ✓ 醇的结构有什么特征？
- ✓ 试以乙醇为例总结醇类的主要反应。
- ✓ 描述乙醇与钠、乙醇与氢溴酸反应的现象和结论。
- ✓ 乙醇脱水反应条件的不同对产物有何影响？
- ✓ 脂肪烃和醇之间是如何相互转化的？请举例说明。
- ✓ 举例说明醇类物质在生活中的应用。
- ✓ 甲醇对人体存在哪些危害？如何消除或避免危害？
- ✓ 总结取代反应、加成反应和消去反应的区别。
- ✓ 酚的结构有什么特征？
- ✓ 苯酚主要的物理性质是什么？
- ✓ 设计实验证明苯酚的酸性比碳酸弱。
- ✓ 如何检验酚类物质？试用化学方程式表示。
- ✓ 含酚废水有何危害？化学上采用什么方法处理含酚废水？
- ✓ 醛和羧酸结构上的异同是什么？
- ✓ 如何检验醛基？以乙醛为例写出化学方程式。
- ✓ 写出合成酚醛树脂的化学方程式，举例说明其用途。
- ✓ 描述酮的结构特点，举例说明丙酮的应用。
- ✓ 与醛、酮相比，羧酸结构有什么特征？
- ✓ 根据什么特征对羧酸进行分类？
- ✓ 乙酸乙酯的制备和性质实验有何具体要求？如何解释实验现象？
- ✓ 什么是缩聚反应？缩聚反应和加聚反应有哪些区别？请举例说明。



综合评价

1. 下列有关苯酚性质的叙述不正确的是()

- A. 能与 FeCl_3 溶液发生显色反应
- B. 一定条件下能与 H_2 发生加成反应
- C. 能与过量浓溴水反应生成白色沉淀
- D. 能与 NaHCO_3 溶液反应生成 CO_2 气体

2. 化学家诺贝尔一生研究最多的是硝化甘油，他希望硝化甘油能更安全地应用于民用爆破。请写出浓硝酸与甘油反应生成硝化甘油的化学方程式。

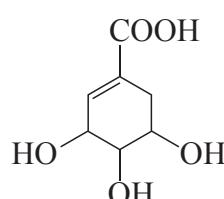
_____。

3. 欲分离苯和苯酚，一般可向其混合物中加入稍过量的浓氢氧化钠溶液，反应的离子方程式为_____。再将该混合物转移到分液漏斗中，振荡，静置后溶液将出现_____现象，然后分液。从分液漏斗分出下层液体，加入适量盐酸，再将其分成两份：向一份溶液中加入三氯化铁溶液，出现的现象是_____；向另一份溶液中加入浓溴水，发生反应的化学方程式是_____。从分液漏斗上口倒出的上层液体是_____。

4. 写出分子式为 $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ 、属于羧酸或酯的各种同分异构体的结构简式。

_____。

5. 莽草酸是合成治疗禽流感的药物——达菲的原料之一。有机物A是莽草酸的一种同分异构体。A的结构简式如下：



(1) A的分子式是_____。

(2) 写出A与溴的四氯化碳溶液反应的化学方程式：

_____。

(3) A与羧酸和醇都能发生酯化反应，与羧酸反应时的官能团为_____（填结构简式，下同），与醇反应时的官能团为_____。

(4) 写出A与氢氧化钠溶液反应的化学方程式：

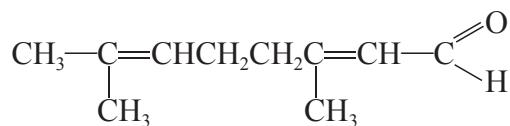
_____。

(5) 17.4 g A与足量碳酸氢钠溶液反应，生成二氧化碳的体积（标准状况）是_____。

_____。



6. 柠檬醛是一种具有柠檬香味的有机化合物，广泛存在于香精油中，是食品工业中重要的调味品，且可用于合成维生素A。柠檬醛的结构简式如下：



(1) 试推测柠檬醛可能发生的反应有()

- ① 能使溴的四氯化碳溶液褪色 ② 能与乙醇发生酯化反应 ③ 能发生银镜反应
④ 能与新制的Cu(OH)₂反应 ⑤ 能使酸性KMnO₄溶液褪色

A. ①②③④ B. ①②④⑤ C. ①③④⑤ D. ①②③④⑤

(2) 检验柠檬醛分子中含有醛基的方法是_____，
发生反应的化学方程式为_____。

(3) 检验柠檬醛分子中含有碳碳双键的方法是_____。

(4) 实验操作中，应先检验哪一种官能团？为什么？_____。

7. 经分析，某芳香族化合物A含有C、H、O的质量分数分别为77.8%、7.4%、14.8%，该有机物一个分子中只含有一个氧原子。

(1) 通过计算，写出该有机物的分子式。

(2) 如果该有机物遇FeCl₃溶液变为紫色，写出满足要求的所有有机物的结构简式，并对其命名。

专题 5

药物合成的重要原料 ——卤代烃、胺、酰胺

卤代烃
胺和酰胺
有机合成设计



同学们是否注意到，合成药物中除含碳、氢、氧元素外，还有很多含有卤素和氮元素。有机物分子中的卤素原子可以活化分子，使一些反应更易进行；氮元素的存在极大地丰富了有机化合物的成键方式和分子结构，其对应的烃的衍生物也具有特殊的性质。本专题侧重讨论含卤素原子的卤代烃和含氮原子的胺、酰胺的结构特征和主要性质，以及它们在生产、生活和合成研究中的重要应用。





第一单元 卤代烃

烃分子中的氢原子被卤素原子取代后形成的化合物叫做**卤代烃**（halohydrocarbon），可用通式RX表示。自然界中少量的卤代烃存在于海洋生物中，大多数卤代烃是人工合成的。由于卤代烃的应用非常广泛，在有机合成中具有举足轻重的“桥梁”地位，因此，卤代烃的制备和性质已成为有机化学研究的一个重要课题。



目标预览

通过本单元内容的学习，要求同学们努力达到：

能通过实验探究简单卤代烃的主要化学性质，并能从结构角度进行解释；能举例说明卤代烃在有机合成中的重要作用；能从绿色化学的视角认识卤代烃在生产、生活中的合理应用，以及对人类社会可持续发展的影响。



卤代烃的性质



温故知新

请根据所学的对含不同官能团有机化合物进行分类的思路，从不同角度对卤代烃分类。

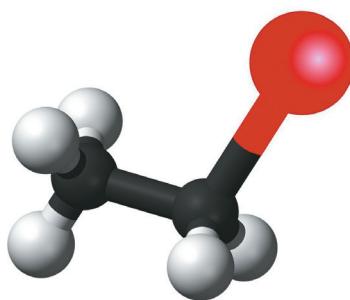


图 5-1 溴乙烷分子的球棍模型

卤代烃的种类很多，按照分子中烃基结构的不同，可将卤代烃分为卤代烷烃、卤代烯烃、卤代芳香烃等；按照分子中取代卤原子的不同，可将卤代烃分为氟代烃、氯代烃、溴代烃、碘代烃等；按照分子中取代卤原子的多少，可将卤代烃分为一卤代烃和多卤代烃等。

大多数卤代烃都具有特殊气味。常温下，卤代烃中除了一氯甲烷、氯乙烷、氯乙烯等少数为气体外，其余多为液体或固体。通常情况下，互为同系物的一卤代直链烷烃，它们的沸点随碳原子数及卤素的相对原子质量的增加而升高。

除脂肪烃中的一氟代烃等部分卤代烃外，液态卤代烃的密度一般比水大。卤代烃不溶于水，易溶于乙醚、苯、环己烷等有机溶剂。某些卤代烷烃还是很好的有机溶剂，如二氯甲烷（ CH_2Cl_2 ）、氯仿（ CHCl_3 ）和四氯化碳等。

批判性思维

一卤代烃和四氯化碳都是卤代烃分子，为什么一卤代烃可以燃烧，而四氯化碳可用作灭火剂？



卤代烷分子中，由于卤素原子吸引电子能力大于碳原子，使C—X键具有极性，在极性试剂作用下，C—X键较易发生断裂，并与试剂的基团结合生成新的化合物。卤代烷的许多化学性质，都与碳卤键有关。

观察思考



1. 完成下列有关溴丙烷的实验，观察实验现象。

【实验1】组装如图5-2所示装置，向试管中注入5 mL 1-溴丙烷（或2-溴丙烷）和10 mL饱和氢氧化钾乙醇溶液，均匀加热，观察实验现象（小试管中装有约2 mL稀酸性高锰酸钾溶液）。取试管中反应后的少量剩余物于另一试管中，再向该试管中加入稀硝酸至溶液呈酸性，滴加硝酸银溶液，观察实验现象。

【实验2】组装如图5-2所示装置，向试管中注入5 mL 1-溴丙烷（或2-溴丙烷）和10 mL 20%的氢氧化钾水溶液，加热，观察实验现象。取试管中反应后的少量剩余物于另一试管中，再向该试管中加入稀硝酸至溶液呈酸性，滴加硝酸银溶液，观察实验现象。

2. 请填写下表。

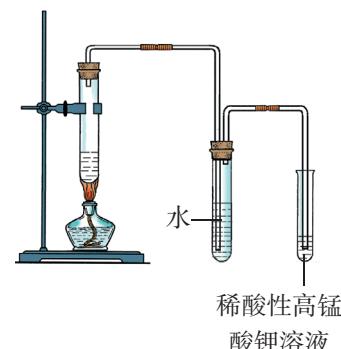
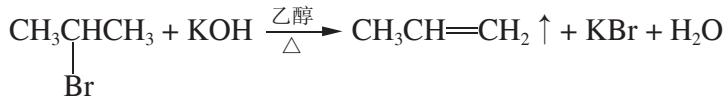


图 5-2 溴丙烷与氢氧化钾的反应装置示意图

	实验1	实验2
实验现象		
结论		
反应物		
反应条件		
生成物		
化学方程式		



卤代烃与强碱的醇溶液共热时会脱去卤化氢，同时生成不饱和烃。例如，溴丙烷与氢氧化钾的醇溶液共热时能生成丙烯。卤代烃与强碱的醇溶液共热时发生的消去反应，是向有机化合物分子中引入碳碳不饱和键的重要方法，在有机合成中有着广泛的应用。



学科提炼

有机合成中引入双键的方法

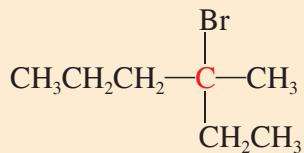
一定条件下醇消去水的反应，与卤代烃消去卤化氢的反应较为相似，它们都可获得相同碳原子数的烯烃。此外，我们之前学过的在控制反应物用量的前提下，炔烃发生加成反应也可生成烯烃，这也是引入碳碳双键的一种方法。

除卤代烷烃能发生上述消去反应外，卤代烯烃在很强的碱性条件下也能发生消去反应。实验室利用这一性质来制备炔烃。



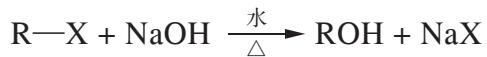
批判性思维

在一定条件下，如下结构的3-甲基-3-溴己烷能发生消去反应。



写出该化合物发生消去反应后得到的产物的结构简式，并说明原因。

1-溴丙烷与强碱的水溶液共热时，会发生取代反应（这类反应又称卤代烃的水解），1-溴丙烷转变为丙醇。卤素原子直接与苯环相连的卤代芳香烃，如氯苯、溴苯等，发生水解反应的条件则较为苛刻。



卤代烷烃与碱作用时，卤代烷烃中烃基结构的差异，反应试剂、溶剂以及温度等条件的不同，会导致反应产物的不同。

在有机合成中，利用卤代烃的消去反应可以形成不饱和键，得到烯烃、炔烃等。利用卤代烃的取代反应可以形成碳氧单键（C—O）、碳碳单键（C—C）等。这是因为C—X键是典型的极性共价键，在化学反应中表现出较强的活性。



拓展视野

卤代烃在有机合成中的应用

不同卤代烃在碱性条件下发生的取代反应比较相似，都可以看成是带负电荷的基团取代了卤素原子。例如：



卤代烃还可以与金属反应，形成金属有机化合物。其中最负盛名的是有机镁化合物，它是由法国化学家格利雅（V. Grignard）于1901年发现的。通过卤代烃与镁（用醚作溶剂）作用得到烃基卤化镁（RMgX，也称为格氏试剂），烃基卤化镁与其他物质（如卤代烃、醛、二氧化碳等）反应可以实现碳链增长，得到烃、醇、羧酸、酮等多种有机化合物。

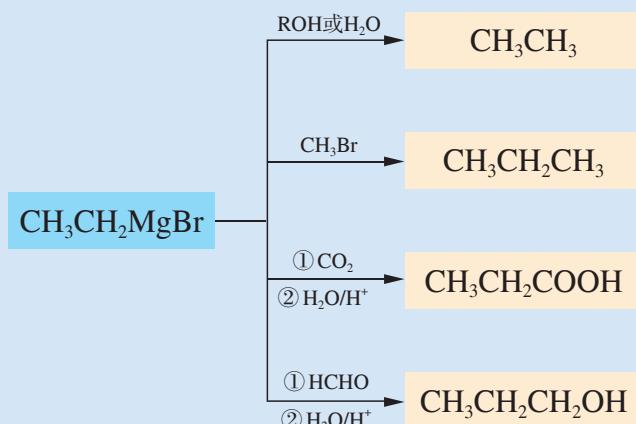


图 5-3 格氏试剂在有机合成中的应用

烃基卤化镁在有机合成中的广泛应用，极大地推动了有机化学的发展，格利雅也因此获得了1912年的诺贝尔化学奖。



卤代烃的合理使用

含有卤素原子的有机物大多是由人工合成得到的，它们的用途十分广泛，对人类生产、生活有着重要的影响。



交流讨论

在前面的学习中，我们已经接触到部分卤代烃，你能写出它们的结构式吗？观察图5-4，查阅有关资料，说说你所了解到的常见卤代化合物对人类生活的影响，并将你所了解到的信息与同学交流。



聚氯乙烯绝缘电线外壳



能缓解肌肉疼痛的氯乙烷喷雾剂



表面涂有聚四氟乙烯的不粘锅



七氟丙烷灭火器

图 5-4 卤代烃的部分用途

卤代烃广泛应用于药物合成、化工生产中，许多有机化合物都需要通过卤代烃去合成。例如，溴乙烷是合成药物、农药、染料、香料的重要基础原料，是向有机化合物分子中引入乙基的重要试剂。选取邻二氯苯为原料，经硝化、氟代、还原、缩合、水解等一系列反应，可合成治疗敏感菌引起的各类感染的“诺氟沙星”。

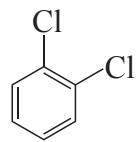


图 5-5 邻二氯苯的结构简式

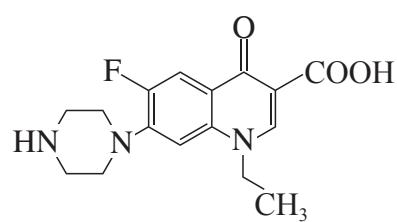


图 5-6 “诺氟沙星”的结构简式

氯乙烷常用作局部麻醉剂。因其沸点低，从加压容器中喷在皮肤表面时会迅速汽化，同时吸收大量的热量，使皮肤迅速冷却导致该部位的神经末梢处于麻醉状态。由氯乙烷制成的喷雾剂被广泛应用于运动场所紧急处理运动员的伤痛。

卤代烃除了用于合成药物，还是制备高聚物的原料。例如，氯乙烯是聚氯乙烯（PVC）的单体，PVC曾是世界上产量最大的通用塑料，常用于建筑材料、工业制品、地板革、地板砖、人造革、管材、包装膜等。由氟乙烯合成得到的聚氟乙烯、聚三氟乙烯、聚四氟乙烯等高聚物，以优良的耐热、耐磨、耐腐蚀等性能，开辟了材料应用的新领域。



跨学科链接

特殊的材料——聚四氟乙烯

在已投入生产的300多种塑料中，聚四氟乙烯（简称PTFE）被人们誉为塑料王。它不但坚固、耐磨、电绝缘、无毒性，而且特别稳定，既耐热又耐冷，从250℃高温至-195℃低温范围内都可使用。它的防腐能力胜于玻璃、陶瓷、不锈钢，甚至黄金。PTFE在王水中煮沸几十个小时不发生任何变化。因此，PTFE在原子能、半导体、超低温研究和航天火箭等尖端科学技术中都有广泛应用。PTFE具有固体材料中最小的表面张力而不粘附任何物质，生活中常用的不粘锅的内壁涂层就是PTFE。

PTFE的优点也导致其加工工艺上的困难。一般的热塑性塑料，加热后用注塑、挤压吹塑等方法便可使塑料成型。而PTFE加热到415℃也不呈现流动状态，必须先预压成毛坯，再烧结，成本较高。

卤代烃的种类多，使用面广。大量用作有机溶剂、干洗剂的卤代烃，具有挥发性，会对大气臭氧层产生一定的破坏作用。机动车尾气中的卤代烃主要是氯代烷烃、氯代烯烃，人吸入这些气体后会引起神经中枢甚至内脏器官不同程度的中毒反应。挥发性卤代烃有可能造成大气的二次污染，发达国家较早采取了抑制城市大气中挥发性卤代烃含量的措施，以防止光化学污染的产生。

选择决策



氟利昂：何去何从？

1930年，杜邦公司发明了氟利昂。氟利昂是氟氯烷的总称，可以根据其分子式分为氯氟烃类（CFC）、氢氯氟烃类（HCFC）、氢氟烃类（HFC）三种，目前使用最为广泛的氟利昂制冷剂是二氟一氯甲烷（CHClF₂）。氟利昂具有廉价、无臭无毒、易液化、不燃不爆、安全性高等性能，在20世纪30年代取代了之前广泛使用的氨气和二氧化硫这两种有刺激性与腐蚀性的制冷剂，被用于冰箱和空调生产，从此使得空调能被普遍应用于办公室和家庭。氟利昂还可以用作发泡剂、灭火剂等，也可用于生产香水、化妆品、干洗剂、农药、涂料、油漆、头发喷雾剂等。



氟利昂的化学性质稳定，在低空中不分解。小部分氟利昂升入大气平流层后，受到强烈紫外线的照射，会分解产生活性非常高的氯原子 $\text{Cl}\cdot$ （也称氯自由基），进而与臭氧分子反应使臭氧层遭受破坏。臭氧能够吸收紫外线，肩负着保护地球的重责。1987年，南极上空已出现臭氧层空洞。当紫外线不能被臭氧所抵挡而直接照射到地面时，会导致皮肤癌的发病率上升。从1992年开始，在国际范围内已逐步停止生产某些特定的氟利昂，目前国际上已经在很多领域禁止使用氟利昂。

请你思考，哪些因素影响了氟利昂的盛和衰？你对化学品的研制和使用有何认识？

卤代烃常用于合成药物，在农药、杀虫剂生产中的使用更为普遍。早期常见的农药是氯代烃，它的化学性质稳定，不溶于水，易溶于有机溶剂，在外界环境或有机体内不易被分解，容易导致严重的全球性环境污染。研究表明，含有氟原子的药物可增加分子在细胞膜上的脂溶性，提高药物的吸收和传递速率，具有用量少、低成本、低毒性、低残留、对环境友好等优点，对新药研制有重要的指导意义。据报道，近年来研制的农药新药中，含氟的新药就高达50%。



科学史话

发错的诺贝尔奖

1939年，瑞士科学家穆勒（P. H. Müller）发现DDT具有优异的广谱杀虫作用，并成功进行化学合成，因此获得1948年诺贝尔生理学或医学奖。但是，DDT这一历史上最著名的有机氯杀虫剂仅仅使用了20年，便在全球范围内遭到禁用，有人甚至认为这是一个发错了的诺贝尔奖。

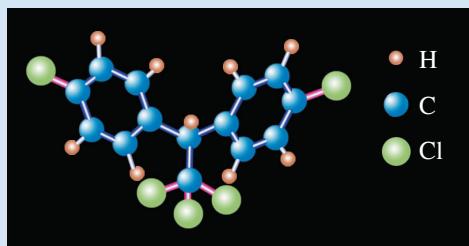


图 5-7 DDT的分子结构模型

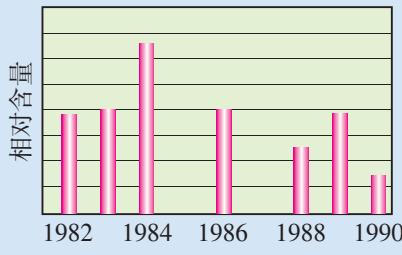


图 5-8 DDT在某地土壤中的残留

DDT是人类合成的第一种有机农药，它杀虫作用强，对温血动物和植物基本无毒害，价格低廉，工艺简单。它在世界范围内农林防虫以及保障人体健康等方面发挥过重要作用。值得一提的是，第二次世界大战期间，DDT有效控制了盟军军营中那不勒斯斑疹伤寒（主要通过虱子传播）的早期流行。后来人们发现，DDT相当稳定，能在自然界滞留较长时间，难降解，可通过食物链富集在动物体内，形成累积性残留，给人体健康和生态环境造成不利影响。

因此，自20世纪50年代起，环保主义者高度关注农药使用的后遗症，在强烈的反对声中，DDT逐渐被禁用，但DDT事件留给人类的思考却是深刻而长远的。

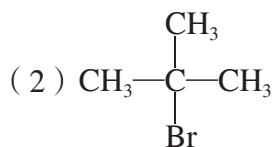
从上述有关DDT的叙述中，你能获得什么启示？



图5-9 环保先驱的警世之作——《寂静的春天》

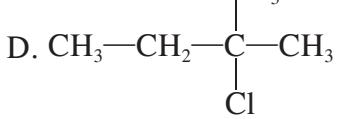
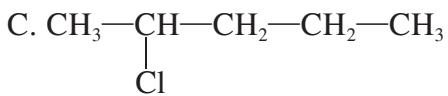
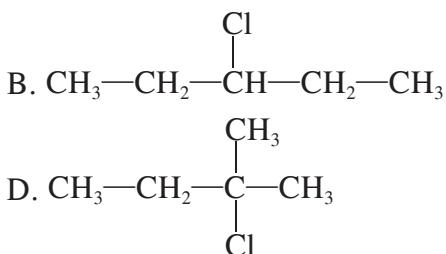
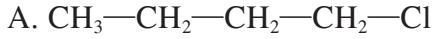
理解应用

- 涂改液作为一种学习、办公用品，使用面越来越广。某些品牌的涂改液中含有的三氯甲烷、三氯乙烷或四氯乙烷等卤代烃会对人体造成一定伤害。某品牌涂改液的使用说明中称其不含任何卤代化合物，请设计简单的方法判断该品牌涂改液中是否含有卤代化合物。
- 请以溴乙烷为原料设计合成乙二醇($\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$)的方案，并写出有关的化学方程式。
- 写出下列反应的化学方程式。
 - 2-氯丙烷与氢氧化钠水溶液共热。
 - 1-溴丙烷与氢氧化钾的醇溶液共热。
- 分别写出下列卤代烃消去卤化氢所得产物的结构简式。

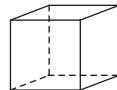




5. 某卤代烷烃 $C_5H_{11}Cl$ 发生消去反应时，可以得到两种烯烃，则该卤代烷烃的结构简式可能为_____（填字母）。



6. 右图所示为立方烷的结构。请写出立方烷的分子式，并判断其一氯代物和二氯代物分别有多少种异构体。



7. 某一氯代烷 1.85 g ，与足量的氢氧化钠水溶液混合后加热，充分反应后，用足量硝酸酸化，向酸化后的溶液中逐滴加入 $1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} AgNO_3$ 溶液，当加入 20 mL 时不再产生沉淀。

(1) 通过计算确定该一氯代烷的分子式。

(2) 写出这种一氯代烷的各种同分异构体的结构简式。

第二单元 胺和酰胺

氮元素是生命的基础，在生命活动中扮演着十分重要的角色。烃的衍生物中除了醇、醛、羧酸等含氧化合物以外，还有含氮元素的胺（amine）和酰胺（acyl amide）。它们在生物体中广泛存在，具有重要的生理作用。我们闻到的鱼腥味其实就来自鱼皮黏液中的三甲胺，一些植物中含有的生物碱也往往存在氨基，蛋白质和核酸的基本结构中也具有酰胺官能团。



目标预览

通过本单元内容的学习，要求同学们努力达到：

通过与氨的类比认识胺的结构和性质；能对胺类化合物进行命名；能运用胺的性质解释某些制药工艺；认识酰胺的结构特征，能类比酯说明酰胺的主要性质；能举例说明胺、酰胺类化合物在药物合成中的重要作用。

胺的结构与应用



温故知新

氨分子是由一个氮原子连接三个氢原子构成的。如果用三个甲基取代氨分子中的三个氢原子就形成了新的分子，你能否画出它的结构？

氨分子中的氢原子被烃基取代而形成的一系列的衍生物称为胺。三甲胺的分子结构与氨气相似，都是三角锥形（如图5-10）。

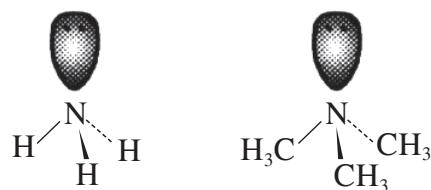
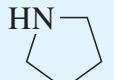


图 5-10 氨气、三甲胺的分子结构



根据氢原子被烃基取代的数目，可以将胺分为一级胺（也称伯胺） RNH_2 、二级胺（也称仲胺） R_2NH 和三级胺（也称叔胺） R_3N （表5-1）。根据胺分子中含有氨基的数目，还可以将胺分为一元胺、二元胺、三元胺等。

表 5-1 胺的结构与分类

类别	结构特点	举例	通式
一级胺	一个氮原子连接着两个氢原子和一个烃基	CH_3NH_2 （甲胺）、 $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$ （苯胺）	RNH_2
二级胺	一个氮原子连接着一个氢原子和两个烃基	$(\text{CH}_3)_2\text{NH}$ （二甲胺）、 	R_2NH
三级胺	一个氮原子连接着三个烃基	$(\text{CH}_3)_3\text{N}$ （三甲胺）、十二烷基二甲基叔胺	R_3N

胺中的烃基R可以相同，也可以不同；可以是脂肪烃基，也可以是芳香烃基。R是脂肪烃基时对应的胺称为脂肪胺，如乙胺($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_2$)；R是芳香烃基时对应的胺称为芳香胺，如苯胺($\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$)。



方法导引

胺类化合物的命名

结构简单的胺常用普通命名法，在烃基后直接加“胺”，如乙胺、二甲胺、苯胺等。更多的胺类化合物则采用系统命名法。

命名胺类化合物时应注意“氨”“胺”“铵”字的用法。表示基团时用“氨”，如甲氨基($\text{CH}_3\text{NH}-$)；表示氨基的烃类衍生物时用“胺”；表示胺的盐时用“铵”。

伯胺、仲胺、叔胺中分别含有氨基($-\text{NH}_2$)、亚氨基($-\text{NH}-$)和次氨基($-\text{N}-$)。

氨气是一种碱性气体，可与酸反应生成盐；胺与氨气结构相似，也具有碱性，可以与酸反应生成类似的铵盐。例如，乙胺与盐酸反应，生成氯化乙铵 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_3^+\text{Cl}^-$ 。



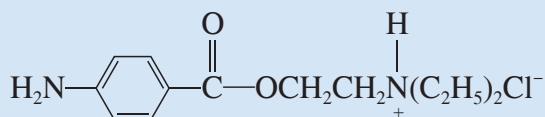
在胺类药物的合成中，常利用上述反应将某些难溶于水、易被氧化的胺，转化为可溶于水的铵盐，增加药物的稳定性，便于保存和运输。



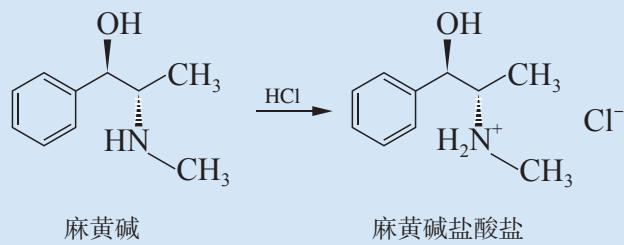
生活向导

铵盐药物的优点

有不少合成药物是胺类化合物，为什么通常把它们制成铵盐后供患者服用？普鲁卡因可作为局部麻醉药，临幊上为何使用下图的盐酸普鲁卡因？



含碳原子数较多的胺难溶于水，易被氧化；铵盐则很难被氧化或发生其他副反应，水溶性和稳定性好，可制成溶液，口服或注射。因此，许多药物和具有生理活性的胺通常以盐的方式保存和使用。例如，中草药麻黄的主要成分麻黄碱，它的熔点只有79℃，鱼腥味重，易被氧化，在临幊上用于治疗习惯性支气管哮喘，预防哮喘发作以及过敏等；而它的盐酸盐熔点为217℃，不易被氧化，也无难闻的气味。因此，通常使用的药物是麻黄碱盐酸盐。



胺易溶于有机溶剂，而铵盐溶于水但不溶于有机溶剂。向铵盐溶液中加强碱，又转化为胺。



借助上述过程，实验室可从含有胺的植物组织中分离、提纯胺类化合物（生物碱）。著名的抗疟药物奎宁就是从树皮中提取出来的一种生物碱。



拓展视野

奎宁的提取

奎宁的分子式是 $\text{C}_{20}\text{H}_{24}\text{N}_2\text{O}_2$ ，其结构中有一个三级胺。作为一种抗疟疾药物，奎宁的正式发现要比青蒿素早100多年。

最早的抗疟药物源于印第安人发现的一种树皮，中文音译

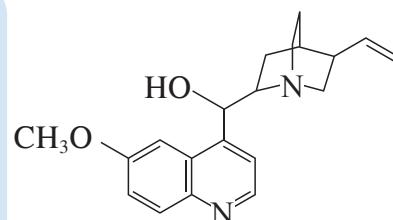


图 5-11 奎宁的结构简式



为金鸡纳，是当时欧洲著名的解热药。但人们只知金鸡纳树皮能治疗疟疾，并不明其药效成分。直到1820年，法国人佩尔蒂埃（P. J. Pelletier）和卡文图（J. B. Caventou）从金鸡纳树皮中提取了奎宁纯品，并证实其具有抗疟性。此后奎宁才被世界各国普遍用于治疗疟疾。

整个19世纪，奎宁的需求都远远大于供应，很多人都研究了奎宁的提取。比较成熟的工艺有：捣碎金鸡纳树皮，在稀硫酸存在下温热萃取、冷却，得到硫酸奎宁结晶，最后用氨水碱化获得奎宁。

20世纪初，仅有极少数的化学家意识到人工合成奎宁的价值，但其立体结构相当复杂，很难合成。1944年，美国化学家伍德沃德（R. B. Woodward）和多林（W. E. Doering）首次完成了奎宁的全合成。但其方法过于繁杂，不适合工业化生产。

至今，奎宁主要还是靠从植物中提取或半合成，科学家还在努力研究奎宁的全合成方法，寻找适合工业化生产的路径。

乙二胺（ $\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$ ）为无色透明液体，溶于水和醇，具有扩张血管的作用。它是制备药物、乳化剂和杀虫剂的原料。乙二胺的戊酸盐是治疗动脉硬化的药物。乙二胺与氯乙酸作用，生成乙二胺四乙酸，简称EDTA，它是重要的分析试剂。

己二胺 [$\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_6\text{NH}_2$] 是一种在高分子合成中广泛应用的二元胺，它是合成化学纤维“尼龙-66”的主要原料。苯胺是染料工业中最重要的原料之一。

酰胺的结构与应用

酰胺是另一种含氮的烃的衍生物，是羧酸中的羟基被氨基或烃氨基（—NHR或—NR₂）取代而成。酰胺官能团相当于羧基中的羟基被氨基取代得到的结构单元。

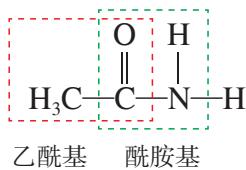


图 5-12 乙酰胺的结构简式

在乙酰胺分子结构（如图5-12）中，其左边红色虚线框中的部分称为乙酰基，右边绿色虚线框中的部分称为酰胺基（键）。

根据氮原子上取代基的多少，酰胺可以分为伯、仲、叔酰胺三类。对简单酰胺而言，根据氨基所连的酰基名称来命名。与胺一样，与氮原子相连的两个烃基可以相同，也可以不同。

酰胺除甲酰胺外，大部分是白色晶体。酰胺的熔点、沸点均比相应的羧酸高。低级的酰胺能溶于水，随着相对分子质量的增大，酰胺的溶解度逐渐减小。

与胺相比较，酰胺不能和酸形成稳定的盐，一般被认为是中性的化合物。

批判性思维

查得乙酸和乙酰胺的熔点、沸点如下：乙酸16.6℃、118℃，乙酰胺81℃、222℃。请解释上述事实。



液态酰胺是有机物和无机物的优良溶剂。例如，N,N-二甲基甲酰胺，简称DMF（如图5-13），它不但可以溶解有机物，还可以溶解某些无机物，是一种性能优良的溶剂。此外，N,N-二甲基甲酰胺还是有机合成的重要中间体，可用来制造农药杀虫脒，还可用于合成维生素B₆、扑尔敏等药物。

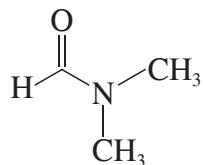


图 5-13 N,N-二甲基甲酰胺的结构简式

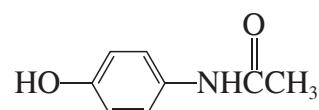


图 5-14 “扑热息痛”的结构简式

“扑热息痛”又叫对乙酰氨基酚（如图5-14），是重要的解热镇痛药。制药工业上以对硝基氯苯为原料，经过一系列反应，最后得到产物。

许多高分子化合物中都存在酰胺基团，如高分子材料“尼龙-66”（如图5-15）。构成生命体的基础物质蛋白质中也含有酰胺基，在二肽、多肽及蛋白质中，酰胺基又称为肽键。

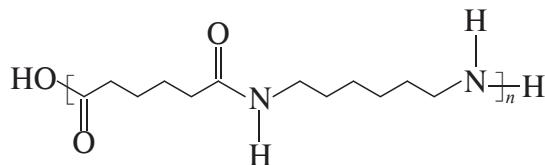


图 5-15 “尼龙-66”的结构简式

交流讨论

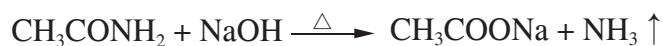
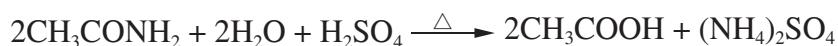


比较乙酸乙酯与乙酰胺的分子结构，它们具有哪种相同的基团？能否预测乙酰胺可能具有哪些化学性质？

酰胺与酯类有机化合物一样，都是羧酸衍生物，两者的结构类似，决定了它们具有相似的性质。在酸、碱作用下，它们都能发生水解反应。



实验表明，酰胺在酸性溶液中生成羧酸和铵盐，在碱性溶液中生成羧酸盐和氨气（或胺）。

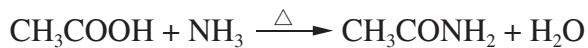


学以致用

尿素属于酰胺，其化学性质具有酰胺的通性。请分别写出尿素在酸性、碱性条件下发生水解的化学方程式。

胺可以转化成酰胺，酰胺又可以水解变成胺，常利用这种转化关系来保护氨基。

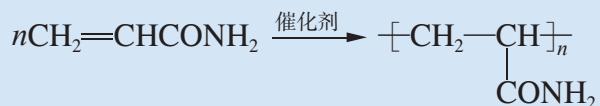
酰胺可以通过氨气（或胺）与羧酸在加热条件下反应得到，或用羧酸的铵盐加热脱水得到。例如乙酰胺可以通过以下反应合成：



拓展视野

聚丙烯酰胺的用途

聚丙烯酰胺（PAM）是由单体丙烯酰胺加成聚合形成的高分子化合物。



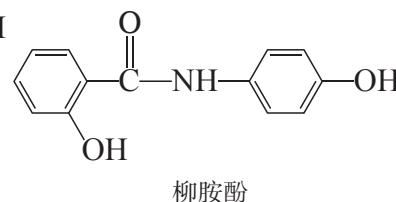
聚丙烯酰胺具有良好的絮凝性，其水溶液的黏度很高，因此是一种优良的增稠剂，广泛应用于废水处理、石油开采、造纸等行业。在处理废水时加入聚丙烯酰胺，能促进杂质凝聚下沉；在石油开采中，利用聚丙烯酰胺来调节钻井液的黏稠度；造纸时添加聚丙烯酰胺，能提高纸张的质量，增强浆料脱水性能，减少原材料的消耗以及对环境的污染等。



理解应用

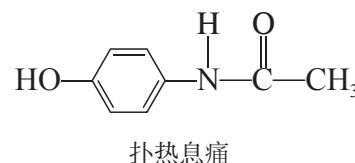
1. 已知柳胺酚的结构简式如右下图所示，下列说法不正确的是（ ）

- A. 1 mol 柳胺酚与NaOH溶液反应，最多能消耗2 mol NaOH
- B. 它可以发生硝化反应
- C. 它可以发生水解反应
- D. 它可以与溴发生取代反应



2. 下列有关“扑热息痛”的说法不正确的是（ ）

- A. 它能与烧碱溶液反应
- B. 它能与溴水发生取代反应
- C. 它不能被氧化剂氧化
- D. 它遇 FeCl_3 溶液发生显色反应

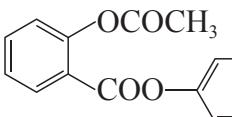


3. 写出下列化合物的结构简式。

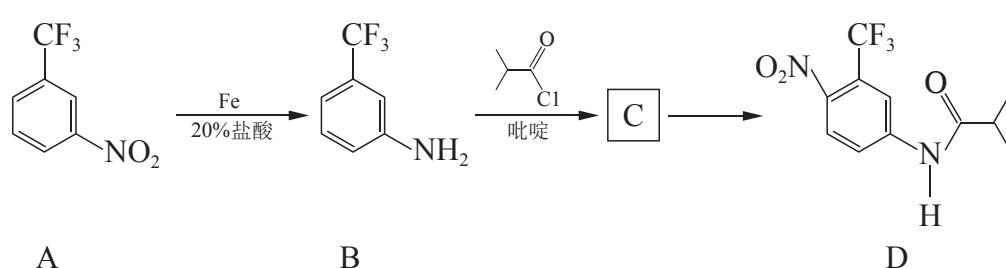
(1) 三乙胺。 (2) 对甲基苯胺。 (3) N,N-二甲基甲酰胺。 (4) 丙烯酰胺。

4. 按氮原子所连烃基数目分析，环己胺可归类为_____（填“伯胺”“仲胺”或“叔胺”，下同），三甲胺可归类为_____，二苯胺可归类为_____。

5. 以正丁醇为原料制备正丁酰胺，写出有关反应的化学方程式。

6. 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_____。

7. 氟他胺 (D) 是一种可用于治疗肿瘤的药物，实验室一种合成路线片断如下：



(1) D中含氧官能团的名称为_____。

(2) A→B的反应类型为_____。

(3) 写出B→C反应的化学方程式：_____。



第三单元 有机合成设计

自19世纪20年代以来，人类开始进行有机合成的研究，为了满足人类的特殊需求，有机化学家们不断地合成功能各异、性能卓越的各种有机物。随着有机合成化学的迅速发展，以染料合成和药物合成为重点的有机合成化学工业得以兴起。化学家用“设计”和“转化”的方法不断地提高有机合成工业发展水平，以创造更多优质的产品提高人们的生活质量。



目标预览

通过本单元内容的学习，要求同学们努力达到：

比较常见官能团的结构和特征反应，能举例说明有机物中基团之间的相互影响；能从官能团入手揭示一定条件下有机物之间的相互转化关系；能运用逆合成分析法设计简单的有机合成路线。

有机合成的基础是有机反应，旨在实现官能团的转化和目标产物的高效生成，需要我们综合考虑反应条件的控制和有机物基团间的相互影响。

事物总是相互影响、相互制约的。在有机化合物分子中，这种相互影响、相互制约的关系是否同样存在呢？有何内在的规律？这是我们在学习了主要有机化合物的性质后必须思考的问题。

有机物基团间的相互影响



交流讨论

已知在浓硝酸、浓硫酸条件下，苯、甲苯硝化反应生成一取代产物的温度分别是60℃、30℃。而在100℃时，苯、甲苯硝化反应的产物分别是间二硝基苯和2, 4, 6-三硝基甲苯。你能解释原因吗？

我们已经知道，甲苯的性质与苯相比，具有一定的相似性，同时也有一定的差异。究其原因，是因为苯环受到甲基的影响，更容易发生取代反应；与此同时，甲基受到苯环的影响，也容易被氧化剂所氧化。研究发现，无论是烃类物质，还是烃的衍生物都具有以上类似的现象。

观察思考



1. 取两支试管，各加入少量 $0.001\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaOH}$ 溶液，测其pH。向其中一支试管中加入少量无水乙醇，向另一支试管中加入少量苯酚，混合均匀，分别测定溶液的pH，比较反应前后溶液的pH变化。

2. 比较苯和苯酚的溴代反应，填写下表。

	苯的溴代反应	苯酚的溴代反应
反应物		
反应条件		
被取代的氢原子数		

你能对上述事实作出解释吗？请阐述你的观点，并通过适当的方式与同学交流。

苯酚和乙醇分子中都存在羟基，但是在与氢氧化钠溶液作用时，这两种物质却表现出较大的差异。苯酚和苯都含有苯环，但苯环上的氢原子被取代的难易程度存在明显差异。这是因为，苯酚分子中的苯基影响了与其相连的羟基，使苯酚羟基上的氢原子比乙醇羟基上的氢原子更易电离；而羟基则反过来影响了与其相连的苯基，使苯基上位于羟基邻、对位的氢原子更活泼，更容易被其他原子或原子团取代。以上事实充分说明有机化合物分子中基团之间是相互影响和相互制约的。

基团之间的相互作用会影响物质的性质，以及有机反应的速率。除基团的影响外，有机反应所用的溶剂及其他反应条件也会影响反应的速率和反应产物。如乙醇在浓硫酸催化作用下，加热到 $140\text{ }^\circ\text{C}$ 时主要发生分子间脱水生成乙醚，而加热到 $170\text{ }^\circ\text{C}$ 时主要发生分子内脱水生成乙烯。

因此，我们在研究有机化学反应时，要同时关注反应物分子结构和反应条件的影响。



批判性思维

同学们学过1-溴丙烷在氢氧化钾的水溶液中加热，发生取代反应生成丙醇；在氢氧化钾的乙醇溶液中加热，发生消去反应生成丙烯。在这个反应体系中，取代反应和消去反应同时存在，相互竞争，我们可以通过控制条件使某类反应为主。研究发现，对于卤代烃而言，卤素原子直接相连的碳上氢越多的越容易发生取代反应，反之，容易发生消去反应。如 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Br}$ 与 $(\text{CH}_3)_3\text{CBr}$ ，在其他条件相同的情况下， $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Br}$ 容易发生取代反应， $(\text{CH}_3)_3\text{CBr}$ 容易发生消去反应。对进攻试剂（如上述反应中的KOH）而言，碱性越强，越容易发生消去反应，反之，容易发生取代反应。所以，在利用这些反应合成物质时，要根据需求合理地选择条件。

已知 $\text{C}_2\text{H}_5\text{ONa} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{NaOH}$ ，利用已学知识和材料信息，分析 $\text{C}_2\text{H}_5\text{ONa}$ 和 $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_3\text{CBr}$ 反应会生成什么产物。



重要有机物之间的相互转化

能够合成具有特定性能的有机化合物，是人类的夙愿。如今，通过灵活运用有机化合物在一定条件下发生的相互转化，已经实现了对多种特定有机化合物的合成。



观察思考

我们知道，有机化合物的性质主要取决于它所具有的官能团，有机化合物合成路线的设计往往围绕官能团展开。了解官能团之间的相互转化关系，能帮助我们进一步掌握有机化合物的内在联系。

1. 图5-16列出了我们已经学过的各类有机化合物的代表物。图中醛和羧酸之间的红色箭头表示醛可以直接转变为羧酸。请在图中所列有机化合物之间加上箭头以表示它们之间的转化关系。

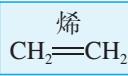
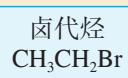


图 5-16 有机化合物之间的转化关系

2. 写出上述转化关系图中所涉及反应的化学方程式，并讨论上述有机化合物相互转化的意义。

3. 请根据以上转化尝试归纳出在有机化合物分子中引入常见官能团的方法。

从官能团入手考察不同类别有机化合物之间的转化关系，不难发现有机化合物之间的转化，实质就是在一定条件下官能团发生的变化。例如，医药工业中以氯苯为原料，制备解热镇痛药“扑热息痛”（对乙酰氨基酚），经历了如下转化过程（如图5-17）。其中的母体苯环不变，苯环上的取代基发生变化，这些变化也反映出不同官能团的一些特殊性质。

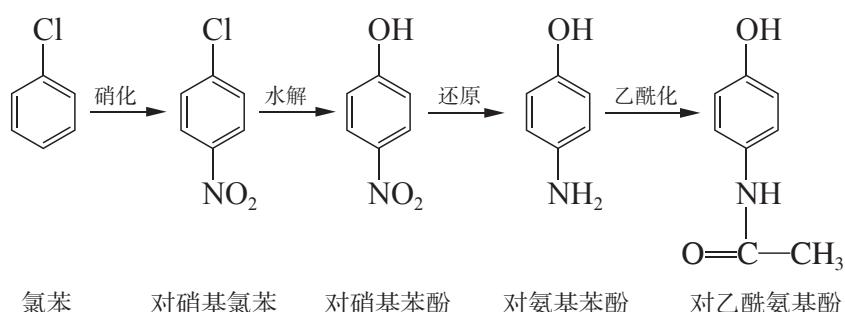


图 5-17 医药工业合成“扑热息痛”的过程

可见，由官能团入手，可以帮助我们清楚地梳理有机化合物之间的转化关系，更全面地把握官能团的性质，并运用这种转化关系解决实际问题。

有机合成的一般过程

一般来说，有机合成就是利用简单、易得的原料，通过一系列有机化学反应，生成具有特定结构和功能的有机化合物的过程。



方法导引

有机合成的步骤

有机合成的任务包括目标化合物分子骨架的构建和官能团的转化。其基本过程为利用简单的试剂作为基础原料，通过有机反应连上一个官能团或一段碳链，得到一个中间产物；在此基础上利用中间产物上的官能团，进行第二步反应，合成



出第二个中间产物。以此类推，经过多步反应，合成目标化合物。

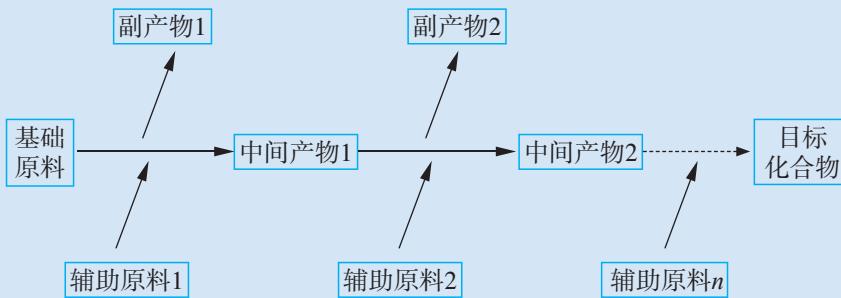


图 5-18 有机合成过程示意图

以上介绍的有机合成的步骤，较多适用于知道起始原料和目标产物的这类合成。但在实际研究中，我们仅知道结构复杂的某种目标产物是什么，并不知道选用哪些合适的原料和反应。这时，我们需要借助一种方法来探寻起始原料，并有指向地进行有机合成路线的设计。



交流讨论

美国化学家科里（E. J. Corey）多年来致力于有机合成方法的研究，创立了有机化合物合成的“逆合成分析理论”，并于1990年获得诺贝尔化学奖。请查阅有关资料，结合实例讨论“逆合成分析理论”的应用。

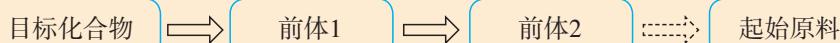
逆合成分析法是设计有机合成路线的一种重要方法，在设计复杂化合物的合成路线时经常用到。它是将目标化合物倒退一步，寻找上一步反应的中间原料，即前体，依次倒推，最后确定最适宜的基础原料和最终的合成路线。其基本思路是，将目标分子中的化学键切断或转换官能团，推出拟合成目标分子的前体，再根据前体推出最初的原料。



学科提炼

逆合成分析

逆合成分析可用如下的图示表示：



在逆合成分析法中，最关键的一步是选择合适的化学键，将其切断，把目标化合物分成小的片段，再通过合适的途径和方式把小片段连接成结构复杂的目标化合物。例如，考虑 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOCH}_2\text{CH}_3$ 的合成，合适的化学键切断位置是C—O键处，结合羧酸和醇反应可以生成酯，容易推出所需的前体是 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$ 和 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ 。

对于不同结构的目标化合物，选择切断化学键的位置时有常用的一些规律：对于结构对称的目标化合物，通常在对称处切断化学键，把目标分子分成对等的两部分；对于含有官能团的目标化合物，通常在官能团处或官能团附近切断化学键；对于含有支链的目标化合物，也可在支链处切断化学键。选择合适的位置切断化学键，通常能起到事半功倍的效果。

确定合成路线中的各步反应时，应尽可能选择反应条件温和、产率高的反应。所使用的基础原料和辅助原料应该是低毒性、低污染、易得和廉价的。离子液体是近年来在绿色化学框架下迅速发展起来的反应介质（即溶剂），在石油化工、煤化工和其他有机合成领域应用广泛。



拓展视野

离子液体中的有机反应

离子液体是由阳离子和阴离子形成的在室温或低温条件下为液体的盐，其有效蒸气压低，热稳定性好，能较好地溶解有机物和无机物，可以满足一些特殊的反应要求。有些离子液体在反应中除了作溶剂外，还可以起到催化作用，因此，具有“设计者溶剂”的美誉。

例如，N-丙烯酰基𫫇唑烷酮与环戊二烯的反应，在离子液体中，反应只需2 min就能完成，且产物的对映选择性高达95%；而在二氯甲烷中，反应需要60 min才能完成，且反应的对映选择性仅为16%。

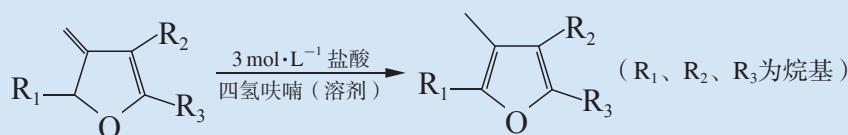
在进行有机化合物的转化研究时，为了提高原材料的利用率，减少环境污染，我们希望将所有的原料都转化成产物，也就是提高原料中的原子利用率。这是化学家不懈努力的方向，也是绿色有机合成研究的一个重要发展方向。



拓展视野

有机合成反应的“原子经济性”

1991年，美国化学家特罗斯特（B. M. Trost）提出以“原子经济性”的标准来评估化学反应的效率，也就是要考察分子中有多少原子最后进入到产物分子。理想的“原子经济性”反应该是在反应物分子中100%的原子都转化到产物中，而没有副产物生成。如加成反应就是原子经济性非常好的有机反应。除此之外，重排反应、异构化反应也是原子经济性很好的反应类型。例如：



另外，我们还要注意开发适用于“原子经济性”反应的催化剂（如有机小分子催化剂），以及活化反应物中的C—H键、C—C键以寻求“原子经济性”反应的新方法。



理解应用

1. 有下列几种反应类型：①消去、②加聚、③水解、④加成、⑤氧化。用丙醛制取1,2-丙二醇时，按正确的合成路线依次发生的反应所属类型应是（ ）

A. ④①④③ B. ⑤④③①

C. ①②③④ D. ④③④①

2. 写出以2-丁烯为原料制备下列物质反应的化学方程式。

(1) 2-氯丁烷。

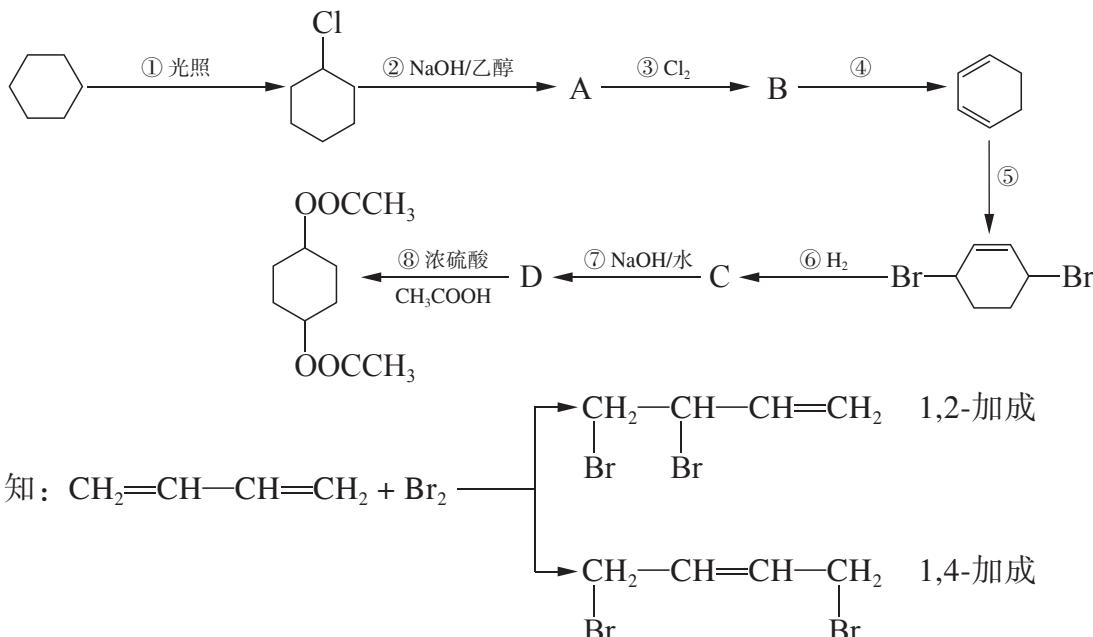
(2) 2-丁醇。

(3) 2,3-二氯丁烷。

(4) 2,3-丁二醇。

(5) 1,3-丁二烯。

3. 二乙酸-1,4-环己二醇酯可通过下列路线合成：

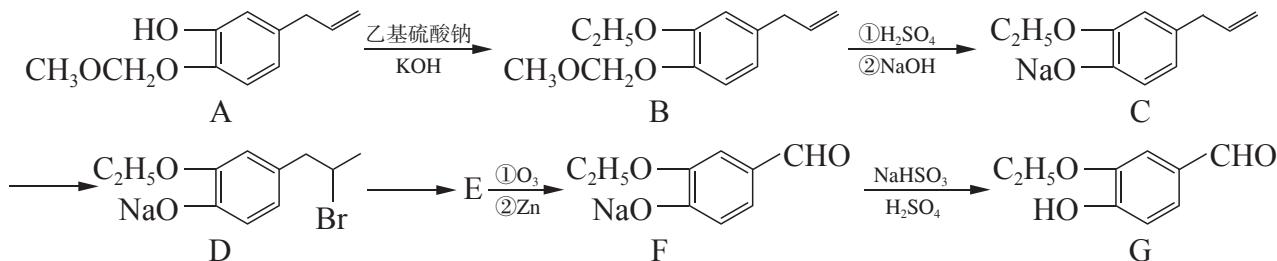


请写出各步反应的化学方程式，并指出其反应类型。

4. 三硝酸甘油酯是一种无色或淡黄色液体，常用于制造肥皂、蜡烛等，也用作溶剂和增塑剂。如果以丙烯为基础原料合成该物质，请设计合成路线（无机试剂及溶剂任选）。

(提示： $\text{CH}_2=\text{CHCH}_3 + \text{Cl}_2 \xrightarrow{500^\circ\text{C}} \text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{Cl} + \text{HCl}$)

5. 有机物G是一种食品香料，它的一种合成路线如下：



已知： $\text{R}-\text{CH}=\text{CH}_2 \xrightarrow[\text{(2)Zn}]{\text{(1)O}_3} \text{R}-\text{CHO} + \text{HCHO}$

- (1) 该香料长期暴露于空气中易变质，其原因是_____。
- (2) 有机物E的结构简式为_____。
- (3) 由D→E→F的过程中，所得的F中可能含有副产物H，H是F的同系物，其结构简式为_____。

(4) 请设计合适的合成方案，以 $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CHCH}_3$ 为主要原料制备 $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{OOCCH}_3$ (无机试剂任用)。



建构整合



回顾与总结

 **请参照下列问题或线索，回顾和总结本专题的学习内容。**

- ✓ 卤代烃有哪些典型的化学性质？请举例说明。
- ✓ 举例说明卤代烃、醇的消去反应在反应条件和产物上的异同。
- ✓ 卤代烃在有机合成中有何重要的应用？
- ✓ 卤代烃对人类生活有何影响？试举例说明。
- ✓ 举例说明如何合理利用氯代烃。
- ✓ 脂肪烃和卤代烃之间的转化关系如何？
- ✓ 胺和酰胺在结构上分别有什么特征？
- ✓ 举例说明胺的化学性质在实验和制药上的应用。
- ✓ 酰胺是如何形成的？其结构特点是什么？
- ✓ 举例说明羧酸和酰胺在结构和性质上的相似性。
- ✓ 举例说明酰胺在生产、生活中的具体应用。
- ✓ 举例说明有机化合物基团之间存在相互影响。
- ✓ 典型有机化合物之间是如何转化的？请举例说明。
- ✓ 为什么说有机合成的本质主要是官能团的变化？
- ✓ 为什么说逆合成分析法能指导有机合成设计？
- ✓ 你对有机化学绿色合成研究有哪些认识？

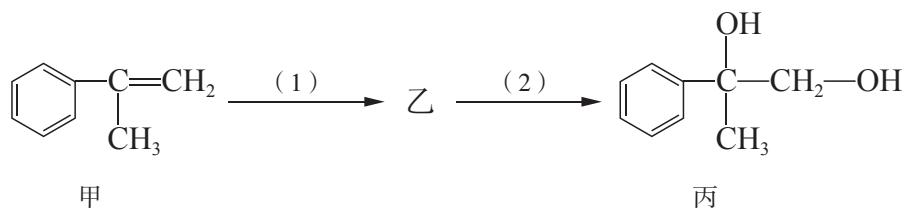


综合评价

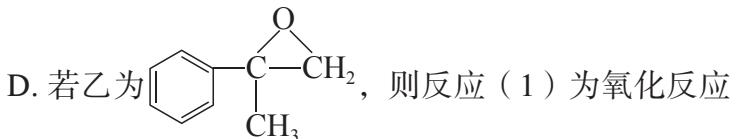
1. 下列物质中，不属于卤代烃的是（ ）

A. $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$ B. $\text{CH}_2=\text{CHCl}$ C. CH_3COCl D. CH_2Br_2

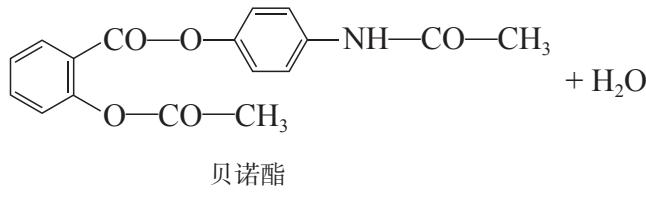
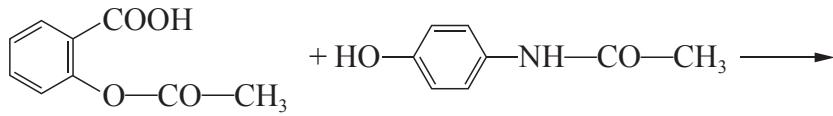
2. 甲经如下两步可生成丙，下列叙述不正确的是（ ）



- A. 丙中可能含有未反应的甲，可用溴水检验是否含甲
 - B. 反应(1)的无机试剂是液溴，铁作催化剂
 - C. 甲和丙均可与酸性KMnO₄溶液发生反应



3. 药物贝诺酯可由乙酰水杨酸和对乙酰氨基酚在一定条件下反应制得：



下列有关叙述正确的是()

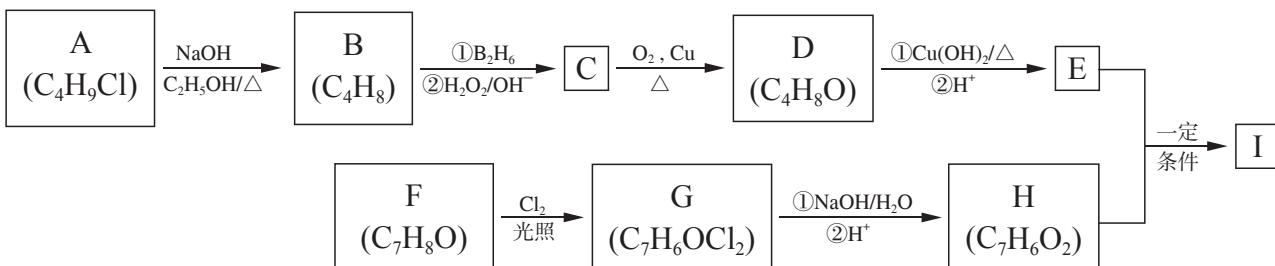
- A. 产物分子中有三种含氧官能团
 - B. 可用 FeCl_3 溶液区别两种原料
 - C. 两种原料均能与 NaHCO_3 溶液反应
 - D. 产物与足量 NaOH 溶液共热，最终生成乙酰水杨酸钠和对乙酰氨基酚钠

4. 请选出卤代烃、醇和酚的代表物，比较它们的化学性质。

5. 下列分子中的所有原子，哪些可能处于同一平面？

- $$(1) \text{CH}_3-\text{CH}_3 \quad (2) \text{CF}_2=\text{CF}_2 \quad (3) \text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}=\text{CH}-\text{CHO}$$

6. 化合物I($C_{11}H_{12}O_3$)是制备液晶材料的中间体之一，其分子中含有醛基和酯基。I可以用E和H在一定条件下合成：



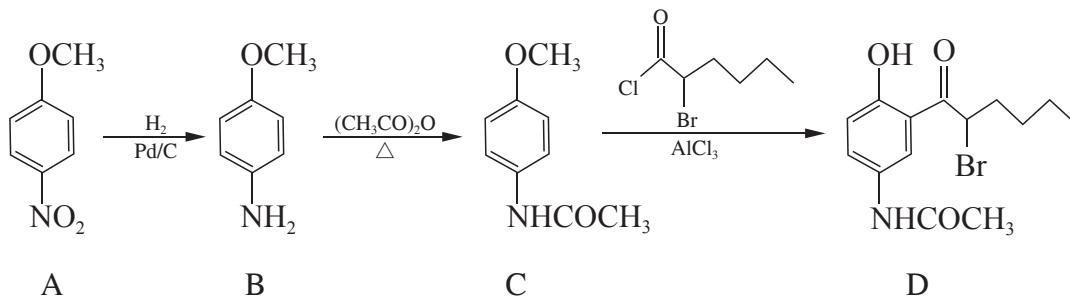
已知以下信息：

- ① A的核磁共振氢谱表明其只有一种化学环境的氢；
- ② $R-CH=CH_2 \xrightarrow[\text{②H}_2\text{O}_2/\text{OH}^-]{\text{①B}_2\text{H}_6} R-CH_2CH_2OH$ ；
- ③ 化合物F苯环上的一氯代物只有两种；
- ④ 通常在同一个碳原子上连有两个羟基时不稳定，易脱水形成羰基。

请由以上信息写出A~I的结构简式：

A_____， B_____， C_____，
 D_____， E_____， F_____，
 G_____， H_____， I_____。

7. 已知某药物合成中间体D的合成路线如下：

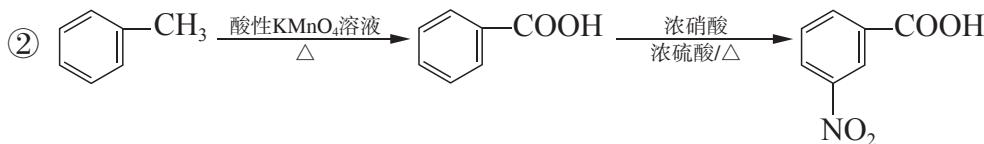


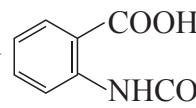
(1) D中含氧官能团的名称为_____。

(2) 写出同时满足下列条件的C的一种同分异构体的结构简式：_____。

① 能发生银镜反应；②能发生水解反应，其水解产物之一能与 $FeCl_3$ 溶液发生显色反应；③分子中只有4种不同化学环境的氢。

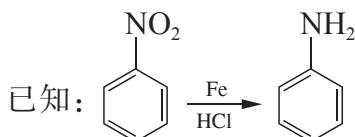
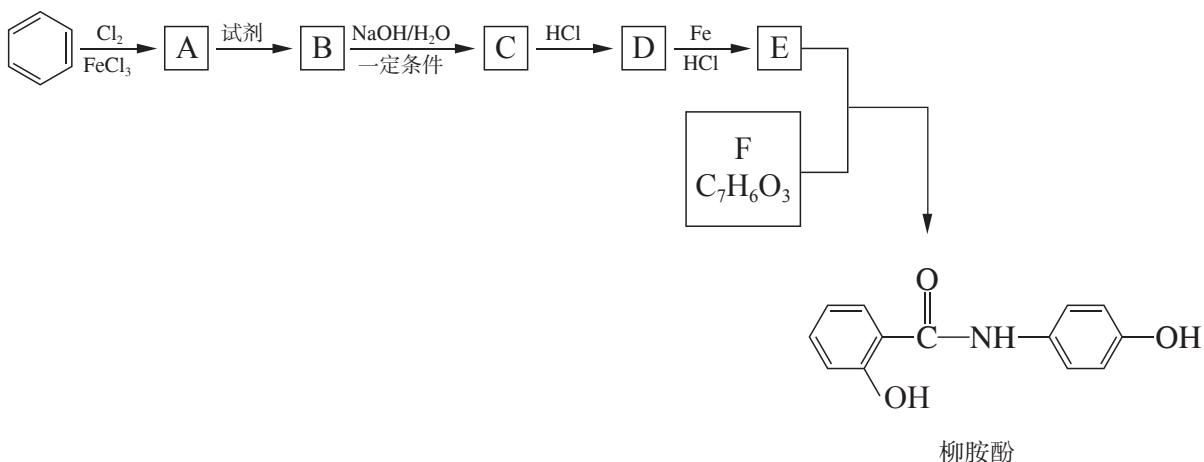
(3) 已知：①苯胺()易被氧化。



请设计合适的合成方案，以甲苯和 $(CH_3CO)_2O$ 为原料制备  (无机试剂任用)。



8. 某课题组以苯为主要原料，采取以下路线合成利胆药——柳胺酚。回答下列问题：



- (1) 写出A→B反应所需的试剂: _____。
- (2) 写出B→C反应的化学方程式: _____。
- (3) 写出化合物F的结构简式: _____。
- (4) 写出同时符合下列条件的F的三种同分异构体的结构简式 (① 属于酚类化合物, 且苯环上有三种不同化学环境的氢原子; ② 能发生银镜反应):
_____。

专题 6

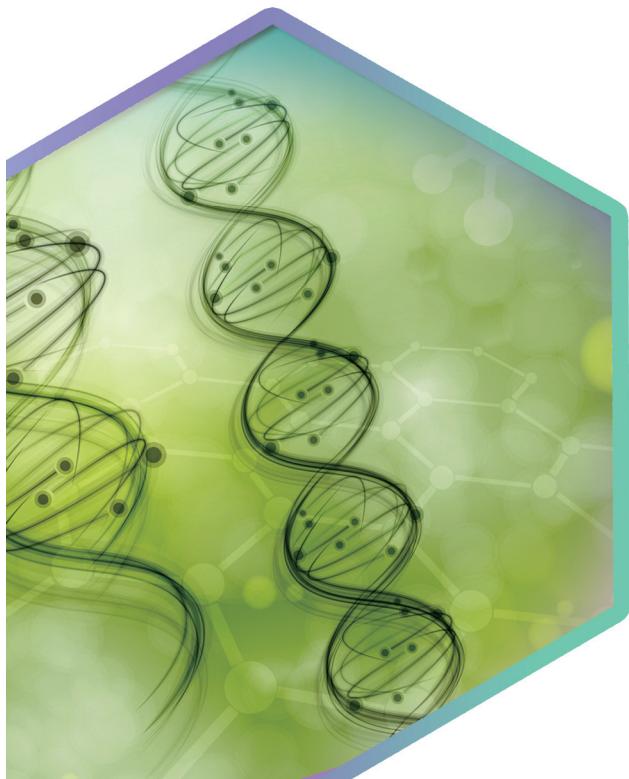
生命活动的物质基础 ——糖类、油脂、蛋白质

糖类和油脂

蛋白质



糖类、油脂、蛋白质这些与生命息息相关的有机化合物，为生命体提供了足够的能量和营养物质，通过在动植物体内发生的一系列化学反应，使生命体得以进行正常的代谢活动、生长发育和生育繁殖。从微观角度考察，这类化合物在组成、结构和性质上表现出各自的特性，为人们在生活中合理应用这些有机物提供了理论基础。本专题将侧重学习这些对生命活动至关重要的有机化合物的知识，以及它们在日常生产、生活中的应用。





第一单元 糖类和油脂

光合作用是地球上极其重要的化学反应，为生物提供了维持生命活动所需要的能量。在太阳光的作用下，绿色植物将二氧化碳和水转化为糖类，将太阳能转变为化学能贮存起来。糖类物质是自然界分布最广泛、种类最多的有机化合物，是人类维持生命活动所需能量的主要来源。

油脂也是生物体内贮存和供应热量的物质。1 g油脂完全氧化可放出近40 kJ的热量，比1 g糖或蛋白质多1倍以上。



目标预览

通过本单元内容的学习，要求同学们努力达到：

能从官能团角度认识葡萄糖的结构特征，通过实验探究葡萄糖的化学性质；能结合实验说明二糖和多糖水解的规律；能描述淀粉、纤维素的典型性质和用途；认识糖类在食品加工和生物质能开发中的重要价值；比较油和脂肪的结构特征以预测它们可能的性质；能列举糖类、油脂的用途及其对生命活动的重要性。



单糖的性质及应用



温故知新

糖类物质是否都有甜味？组成糖类物质的主要元素有哪些？你知道糖类物质对生命活动的重要意义吗？



糖类 (carbohydrate) 一般是指多羟基醛或多羟基酮以及能水解生成它们的物质。糖类可以分为单糖、低聚糖和多糖。低聚糖和多糖在一定条件下可以水解生成单糖。单糖一般就是多羟基醛或多羟基酮，不能再水解。

按照分子中所含碳原子数的多少，单糖可以分为丙糖、丁糖、戊糖（如核糖、脱氧核糖）和己糖（如葡萄糖、半乳糖、果糖）等；按照所含官能团的不同，单糖又可以分为醛糖和酮糖，最简单的醛糖是甘油醛，典型的醛糖是葡萄糖。

图 6-1 富含糖类的物质

交流讨论



下列事实能帮助我们推断葡萄糖的分子结构。

请填写下表，并与同学交流讨论。

	实验事实	结论
①	1.80 g 葡萄糖完全燃烧，生成2.64 g CO ₂ 和1.08 g H ₂ O	
②	葡萄糖的相对分子质量为180	
③	在一定条件下，1.80 g 葡萄糖与乙酸完全酯化，生成的乙酸酯的质量为3.90 g	
④	葡萄糖可以发生银镜反应，生成羧酸盐	
⑤	葡萄糖可以被还原为直链己六醇	
关于葡萄糖分子结构的结论：		

研究表明，葡萄糖（glucose）和果糖（fructose）的分子式都为C₆H₁₂O₆。葡萄糖属于己醛糖，其结构简式可表示为HOCH₂(CHOH)₄CHO；果糖属于己酮糖，其结构简式可以表示为HOCH₂(CHOH)₃COCH₂OH。



拓展视野

单糖的立体异构

甘油醛的分子中存在1个手性碳原子。甘油醛有D型和L型两种结构，它们的旋光性恰好相反。天然存在的单糖大多为D型异构体，如葡萄糖、果糖、核糖等。随着单糖分子中碳原子数的增多，手性碳原子数也增多。如己醛糖[C₆H₁₂O₆, HOCH₂(CHOH)₄CHO]中有4个手性碳原子，共存在16种同分异构体。

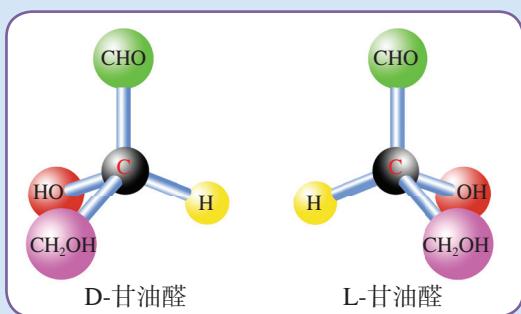


图 6-2 甘油醛的对映异构体

从葡萄糖的结构简式可以看出，葡萄糖分子中含有醛基和羟基两种官能团，据此，可以推测葡萄糖应该具有醇和醛类似的化学性质。事实是否如此呢？



基础实验

葡萄糖的化学性质

与同学合作，完成下列实验：

- 在一支洁净的试管中配制2 mL银氨溶液，加入1 mL 10%的葡萄糖溶液，振荡，然后在水浴中加热3~5 min。观察并记录实验现象。
- 在试管中加入1 mL 10%的NaOH溶液，滴加5%的CuSO₄溶液5滴，再加入2 mL 10%的葡萄糖溶液，加热。观察并记录实验现象。

上述实验证明，葡萄糖能和银氨溶液反应，也能和新制的Cu(OH)₂悬浊液反应，说明葡萄糖具有醛的典型性质；进一步研究发现，葡萄糖还能和羧酸发生酯化反应，具有醇的典型性质。同时，由于基团之间的相互影响，葡萄糖还具有自身的一些特殊性质。



拓展视野

葡萄糖的环状结构

在不同条件下，葡萄糖可以链状或环状的形态存在。葡萄糖分子中连接在5位碳原子上的羟基与醛基作用形成两种环状结构（如图6-3中的B和C）。

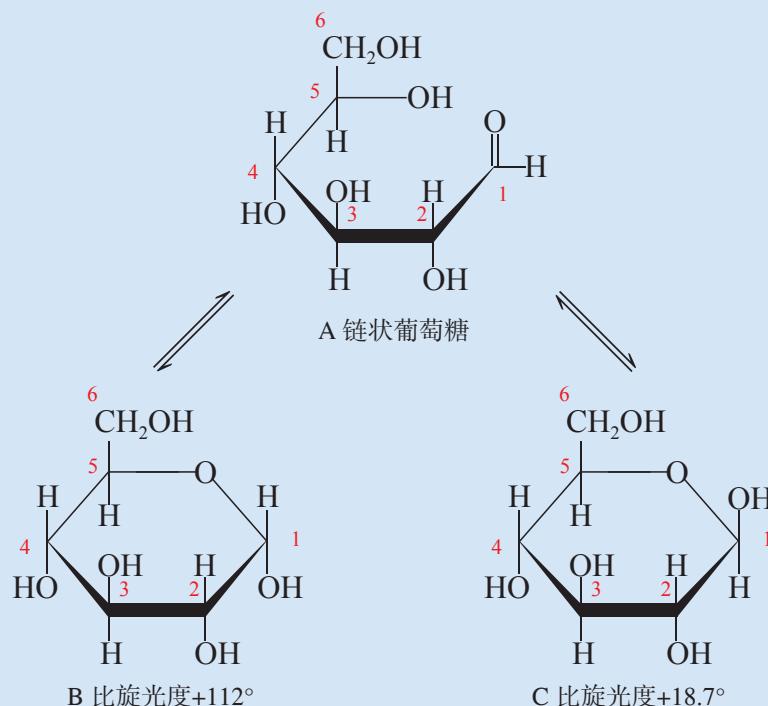


图 6-3 葡萄糖链状和环状结构的互变

在葡萄糖溶液中，链状的葡萄糖分子几乎全部转变为环状结构，B和C共占99%以上。B和C两种结构的旋光活性不同，用B或C的晶体配制的水溶液在室温下会发生奇妙的变旋光现象，最终比旋光度都变为+52.7°。

(注：通常规定1 mL含1 g旋光性物质的溶液在1 dm长的样品管中测得的旋光度为该物质的比旋光度。)

多糖的性质及应用

通常把由不到20个单糖缩合形成的糖类化合物称为低聚糖，低聚糖彻底水解后将得到单糖。低聚糖中以二糖最为常见，二糖又以蔗糖(sucrose)、麦芽糖(maltose)、乳糖、纤维二糖等最普遍。蔗糖、麦芽糖、乳糖、纤维二糖互为同分异构体，分子式都为C₁₂H₂₂O₁₁。

基础实验

蔗糖的性质

下列活动可以帮助我们研究低聚糖的性质。

【实验1】向两支洁净的试管中各加入1 mL 20%的蔗糖溶液，并向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，然后向加入硫酸的试管中滴加氢氧化钠溶液，中和硫酸。

【实验2】另取两支洁净的试管，分别加入新制的氢氧化铜悬浊液，将实验1所得溶液分别加入试管中，加热，观察现象。

上述实验说明蔗糖具有哪些化学性质？

蔗糖不能发生银镜反应，它在硫酸催化下会水解生成葡萄糖和果糖。



蔗糖 葡萄糖 果糖

二糖是由两个单糖分子之间脱去一分子水形成的，结构比较复杂。麦芽糖、纤维二糖和乳糖都能发生银镜反应。麦芽糖和纤维二糖水解后都只得到葡萄糖，乳糖水解后则得到半乳糖和葡萄糖。麦芽糖和纤维二糖在结构上仅存在微小差异，但是它们的性质却存在明显的不同，如麦芽糖有甜味且能被人体水解，而纤维二糖无甜味且不能被人体水解。



生活向导

多糖及其衍生物的药用——紫菜多糖和甲壳素

紫菜是一种营养丰富的食用海藻，具有高营养、低热量的特点，有很高的食用和药用价值。紫菜的主要成分是紫菜多糖，紫菜多糖属于半乳聚糖硫酸酯，主要由半乳糖、3,6-内醚半乳糖和硫酸基组成。紫菜多糖具有明显的抗凝血、抗血栓、降血脂的作用，还具有抑制肿瘤、降低血糖、抗炎和防治溃疡等作用。

纤维素中葡萄糖单元上的一个羟基被乙酰氨基取代得到甲壳素，它在生活中应用广泛。例如，以甲壳素为原料可以制得人造皮肤、止血海绵、手术缝合线、伤口敷料、人造血管、药物缓释剂、抑制肿瘤生长及转移助剂；用甲壳素溶液浸泡种子，可以提高种子出芽率，使幼苗强壮。



图 6-4 紫菜中富含紫菜多糖



图 6-5 蟹壳中富含甲壳素

多糖在自然界分布很广，是生物体的重要组成成分。自然界中最常见的多糖是纤维素（cellulose）和淀粉（starch）。纤维素是构成植物细胞壁的基础物质，淀粉则是植物贮存能量的主要物质。



实验探究

下列活动可以帮助我们研究多糖的水解。

【实验1】在两支洁净的试管中各加入约0.5 g淀粉，再向两支试管中分别加入20%的硫酸溶液和蒸馏水各5 mL，将两支试管放入沸水浴中加热5 min，然后向加入硫酸的试管中滴加氢氧化钠溶液，中和硫酸。

【实验2】另取两支洁净的试管，分别加入新制的氢氧化铜悬浊液，将实验1所得溶液分别加入试管中，加热，观察现象。

请同学们查阅资料，设计实验，研究纤维素的水解。

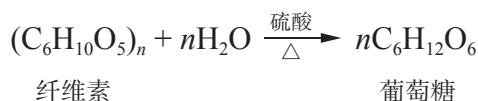
淀粉和纤维素的组成都可以用 $(C_6H_{10}O_5)_n$ 表示，通常情况下，淀粉分子中含有几百到几千个葡萄糖单元，纤维素分子中所含的葡萄糖单元更多。淀粉与纤维素分子中葡萄糖单元的空间结构也不同。在无机酸或酶的催化下，淀粉和纤维素可以发生水解反应。淀粉在淀粉酶催化下水解生成麦芽糖，在酸催化下水解则生成葡萄糖。

学以致用



有三瓶无色透明液体，分别是葡萄糖溶液、蔗糖溶液和淀粉溶液，简述如何用实验方法将它们鉴别出来？写出操作过程和有关的化学方程式。

纤维素完全水解后，也得到葡萄糖。



糖类物质中，纤维素在自然界的储量最大。人类对纤维素的利用历史悠久，其中造纸术是人类利用纤维素的杰出代表，为人类的文明作出了巨大贡献。根据考古发现，我国人民在公元前1世纪就会造纸。现代造纸技术以木材、芦苇、秸秆、甘蔗渣等为原料，经过制浆、漂白、打浆、抄纸、烘干等工序即可制成纸。

观察思考



下列活动可以帮助我们研究纤维素的性质。

【实验1】在大试管中加入约4 mL浓硝酸，再小心加入约8 mL浓硫酸，待冷却后，用玻璃棒将一团脱脂棉压入其中浸湿。将大试管放入60~70℃的水浴中加热，同时用玻璃棒轻轻搅拌，8~10 min后，用玻璃棒取出“脱脂棉”，放在烧杯中，洗去残留的酸液。洗净后，挤干残留的水，将“脱脂棉”放在蒸发皿中用沸水浴干燥。取一小团经处理后的“脱脂棉”，点燃，与未经处理的脱脂棉作对比。再取一小团经上述处理后的“脱脂棉”，放入小试管底部，试管口用软木塞轻轻塞住，将其放在酒精灯火焰上加热，观察现象。

【实验2】向烧杯中加入10%的硫酸铜溶液，再加入10%的氢氧化钠溶液至沉淀完全，静置片刻后，倒去上层清液。用浓氨水溶解得到的氢氧化铜沉淀，以获得浓度较高的铜氨溶液。取30 mL制得的铜氨溶液于烧杯中，加入少量脱脂棉，不



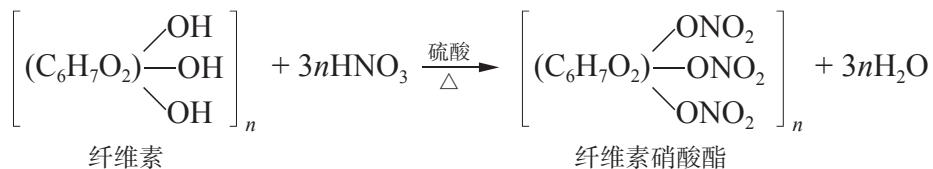
断搅拌，使之形成黏稠液，用注射器将黏稠液吸入针筒，再将其注入稀盐酸（或稀硫酸）中，取出稀盐酸（或稀硫酸）中的生成物，用水洗涤，观察现象。



图 6-6 铜氨纤维的制备

请说说上述实验反映的纤维素性质可能有哪些用途。

纤维素在一定条件下可与浓硝酸发生酯化反应得到纤维素硝酸酯（俗称硝化纤维）。含氮量高的硝化纤维俗称火棉，它是一种烈性炸药。纤维素还能与乙酸酐作用生成纤维素乙酸酯（俗称醋酸纤维），它常用于生产电影胶片片基。



纤维素依次用浓氢氧化钠溶液、二硫化碳处理后可得黏胶液，将黏胶液压入稀硫酸中，可以重新得到纤维素。利用上述方法，可以先将短棉绒、木浆以及甘蔗渣等中的纤维素溶解，再将其压入酸中得到质量更高的纤维，人们把通过这种方法得到的纤维称为黏胶纤维，其中的短纤维称为人造棉，长纤维称为人造丝。

与上述转变相似，纤维素也能溶解在铜氨溶液中，将形成的溶液压入稀酸中，也可以重新得到纤维素，这种纤维称为铜氨纤维。

铜氨纤维的用途与黏胶纤维大体相同，但铜氨纤维的单纤比黏胶纤维更细，光泽度好，性能近似于丝绸，常用作高档丝织或针织物。



调查研究

纤维素经一定的方式处理后可得到性能优于天然纤维素的黏胶纤维和铜氨纤维。根据上述思路，请查阅资料，进一步了解人类运用化学方法改造天然产物的具体实例，并与同学交流分享。

糖类在食品加工和生物质能源中应用广泛，如淀粉和纤维素是生产酒、醋的主要原料。粮食原料中的淀粉和纤维素成分，在淀粉水解酶和纤维素水解酶的作用下被酵母发酵成酒，再由醋酸菌将其氧化成醋。生物质能源的原料主要包括作物秸秆、薪柴、果壳等，其主要成分为糖类。相比化石燃料，生物质能源具有蕴藏量大、易燃易取、可再生、污染小等优点，是广大农村地区最重要的生活燃料。在农村，生物质能源大多直接燃烧，热效率低下，为了避免直接燃烧的缺点，现多以富含糖类的原料经过发酵工艺制得清洁燃料乙醇，大大提高了生物质能源的利用效率。



跨学科链接

不同生物体消化纤维素的能力

你是否好奇，为什么牛只吃草可以长得非常强壮，人却不行？草含有相当多的营养物质和能量物质，对于食草动物而言，其消化道的菌类能分泌纤维素酶，把草中的大量纤维素分解为可消化吸收的简单物质（如小分子脂肪酸等），继而被食草动物转化为葡萄糖，并成为其能量的重要来源。同样，这些简单物质也可以为牛等食草动物提供蛋白质等营养物质。

人不能消化纤维素，因为人的消化液中缺少纤维素酶。以前的观点认为，纤维素不具有营养价值。但近年研究发现，纤维素在人类食物中也是不可缺少的。纤维素能使肠道保持湿润、通畅并有助于食物消化吸收；能加强肠道蠕动，减少有毒物质的积累和停留时间，有助于预防肠道疾病的发生。人们可以通过燕麦、大麦、水果、蔬菜等补充膳食纤维。



图 6-7 草和常见食物中含有纤维素



油脂的性质及应用

油脂 (oils and fats) 是生物维持正常生命活动不可缺少的物质，是生物体内贮存能量的物质，在生物体内它能被氧化而提供能量。油脂主要贮存在动物的脂肪细胞和某些植物的种子、果实细胞中（如图6-8）。特别是动物皮下的脂肪组织和大豆、花生、芝麻、向日葵、蓖麻等油料作物的种子，油脂含量丰富。正常成年男性体内脂肪约占体重的10%~20%。人类摄入的营养物质中，油脂的热值最高，相等质量的脂肪在体内氧化所产生的热量大约是糖类或蛋白质的两倍。



图 6-8 几种常见的植物油

油脂是由高级脂肪酸与甘油形成的酯。形成油脂的脂肪酸可以相同，也可以不同。当脂肪酸相同时，形成的甘油酯称为同酸甘油三酯（单甘油酯）；当脂肪酸不同时，形成的甘油酯称为异酸甘油三酯（混甘油酯）。即使是同一来源的天然油脂，其水解后得到的脂肪酸仍有多种，因此天然油脂主要是异酸甘油三酯，同酸甘油三酯的含量很低。

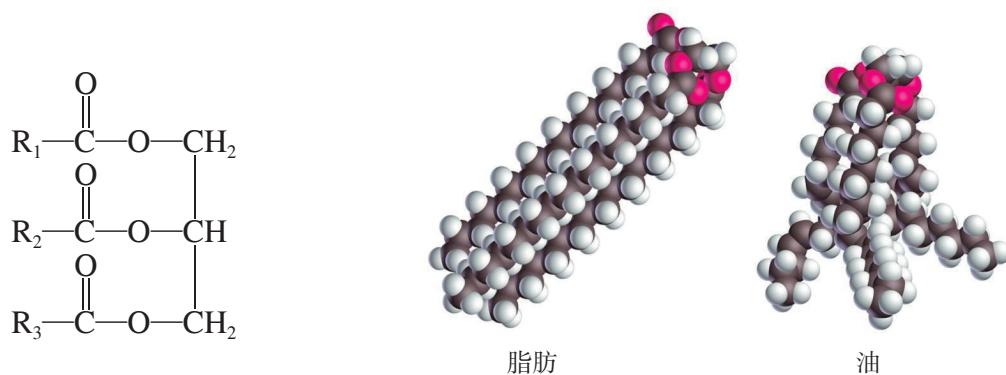


图 6-9 油脂的结构通式和模型

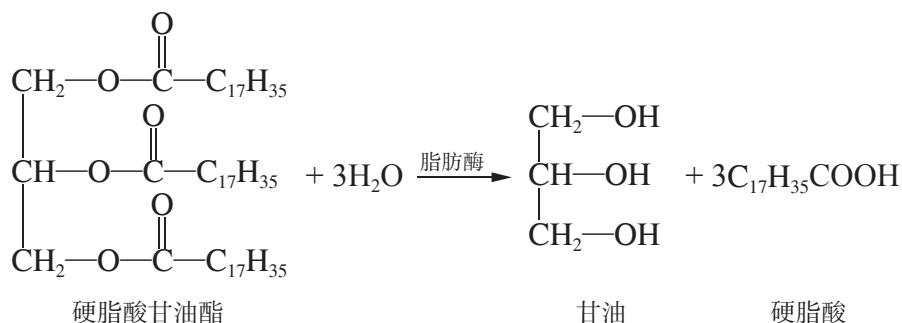
在常温常压下，油脂既有呈固态的，也有呈液态的。一般把呈固态的叫做脂肪，如牛油、羊油等；把呈液态的叫做油，如豆油、花生油、菜籽油、芝麻油等。一般情况下，脂

肪水解得到的主要是一饱和脂肪酸，烃基为饱和烃基；而油水解得到的主要是一不饱和脂肪酸，烃基中含有较多的不饱和键。

调查研究

油脂是人类重要的营养素之一。请调查常见食物中油脂的含量，查阅有关油脂与人体健康关系的资料，调查你周围的人平均每天摄入油脂的情况，并向他们提出合理化建议。

在人体内，油脂主要是在小肠中被由胰腺分泌出的脂肪酶水解，并被吸收。当生命体能量供应不足（如处于长时间饥饿状态）以及对能量有特殊需求时，储存在体内的脂肪将被动用，在肝脏、肌肉等组织内发生氧化，最终转变为水和二氧化碳，给机体提供能量。



油脂不溶于水。在人体中，油脂能够溶解一些不能溶解在水中的营养物质，如脂溶性维生素（维生素A、维生素D、维生素E、维生素K）等，以利于人体吸收。

摄入油脂可以满足人体生命活动对脂肪酸的需要。饱和脂肪酸的主要作用是为人体提供能量，同时它也能增强血管的韧性。有些脂肪酸是维持生命活动所必需的，但人体不能合成，称为必需脂肪酸〔必需脂肪酸包括亚油酸、亚麻酸、花生四烯酸、二十碳五烯酸（EPA）和二十二碳六烯酸（DHA）等〕，它们通常是含不饱和键的脂肪酸。



生活向导

人体必需脂肪酸及其生理作用

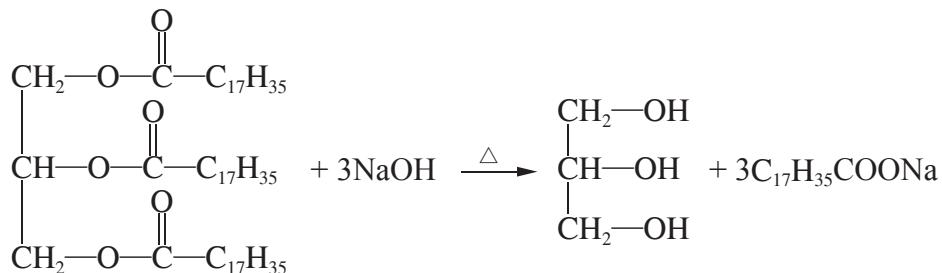
亚油酸、亚麻酸以及EPA能够降低血脂，降低血清中胆固醇的含量，防止动脉粥样硬化。花生四烯酸是人体生理活动中重要的脂肪酸，由它形成的酯广泛存在于人体器官、肌肉和血液组织中，它是合成许多重要生物活性物质的基础原料。DHA是大脑细胞形成和发育不可缺少的物质，能促进智力，增强记忆，延缓大脑衰老。



表 6-1 人体必需的不饱和高级脂肪酸

名称	结构简式	主要来源
9,12-十八碳二烯酸 (亚油酸)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3(\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH})_2(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	豆油、花生油、棉籽油、亚麻籽油
9,12,15-十八碳三烯酸 (亚麻酸)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH})_3(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	亚麻籽油
5,8,11,14-二十碳四烯酸 (花生四烯酸)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3(\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH})_4(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$	仅在动物油脂中含少量
5,8,11,14,17-二十碳五烯酸 (EPA)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH})_5(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$	鱼油
4,7,10,13,16,19-二十二碳六烯酸 (DHA)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH})_6(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	鱼油

在工业上，油脂主要用来生产肥皂、高级脂肪酸、高级脂肪酸酯等。在酸性或碱性条件下，油脂能够发生水解反应。油脂与碱作用生成高级脂肪酸盐和甘油的反应称为**皂化反应** (saponification reaction)，产物高级脂肪酸盐可用于制造肥皂。



含有不饱和键的油脂可以通过催化加氢的方法转变为饱和高级脂肪酸甘油酯。我们把此过程称为“油脂的氢化”或“油脂的硬化”，得到的产物称为“氢化油”或“硬化油”，可以用来制肥皂，也可以用于生产人造奶油。



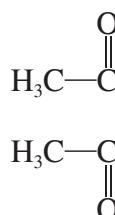
理解应用

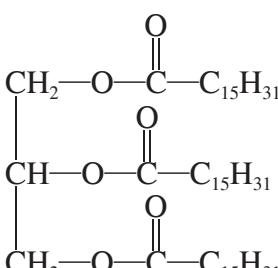
1. 下列四种糖中，能发生水解，且属于还原性糖的是（ ）
 A. 葡萄糖 B. 蔗糖 C. 麦芽糖 D. 淀粉

2. 写出下列反应的化学方程式。

(1) 葡萄糖溶液与新制氢氧化铜悬浊液混合后加热。

(2) 纤维素在硫酸催化下水解。

(3) 纤维素与乙酸酐 () 作用生成纤维素三乙酸酯和乙酸。

(4) 软脂酸三甘油酯 () 在酸性条件下水解。

3. 判断下列说法是否正确，并说明理由。

- (1) 糖类的组成都满足 $C_m(H_2O)_n$ 。
 (2) 纤维素和淀粉的组成都可用 $(C_6H_{10}O_5)_n$ 表示，它们互为同分异构体。

4. 进行蔗糖水解实验时，在试管内加入少量蔗糖溶液，再加3~5 mL稀硫酸，小心煮沸几分钟后冷却，加新制的 $Cu(OH)_2$ 碱性悬浊液，煮沸，无红色沉淀生成。简要说明实验失败的原因：

5. 淀粉在硫酸存在下加热会发生水解，试设计实验判断淀粉水解的情况。

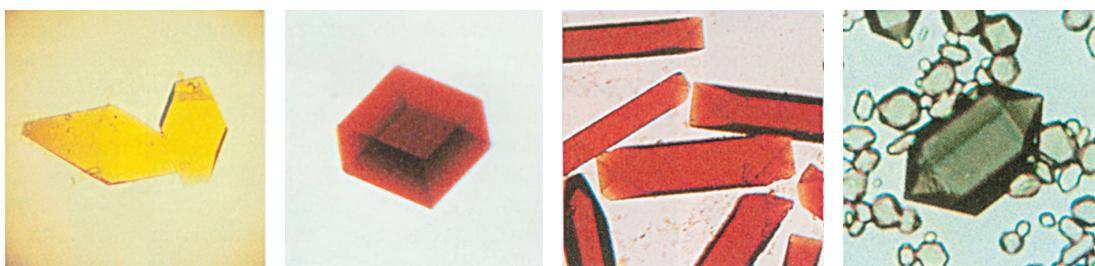
- (1) 淀粉尚未水解；
 (2) 淀粉部分水解；
 (3) 淀粉已完全水解。

请写出实验的简要步骤以及判断依据。



第二单元 蛋白质

蛋白质（protein）是一种生物大分子，是构成生命的主要基础物质。从微生物到高等动物，一切生命过程都与蛋白质密切相关，几乎全部生命活动最终都是通过蛋白质来实现的，没有蛋白质就没有生命。蛋白质是由多种不同的氨基酸（amino acid）构成的，核酸是决定蛋白质生物合成的物质，因此，研究氨基酸、蛋白质、核酸这些基本的生命物质的结构和性质，有助于人类揭开生命现象的本质。



黄素氧化还原蛋白

红素氧化还原蛋白

血红蛋白

细菌叶绿素蛋白

图 6-10 几种常见的蛋白质结晶



目标预览

通过本单元内容的学习，要求同学们努力达到：

认识氨基酸和蛋白质的关系，以及它们对人体健康的影响；能列举简单氨基酸的组成、结构、主要的化学性质和典型的检验方法；能辨识蛋白质中的肽键，能判断氨基酸的缩合产物和多肽的水解产物，能通过实验探究蛋白质的主要性质和检验方法；能初步认识核酸的结构特点和生物功能；体会生物大分子的研究的重要意义。

氨基酸的组成、结构与性质



温故知新

根据学过的有关氨基酸与蛋白质的知识，回答以下问题：

1. 组成蛋白质的主要元素有哪些？你如何理解氨基酸与蛋白质之间的关系？
2. 你知道哪些常见的氨基酸？氨基酸有哪些重要的性质？

迄今为止，人类在自然界已发现了数百种氨基酸，但是从生物体内的蛋白质水解得到的氨基酸，最常见的有20种，被称为蛋白质氨基酸。这20种常见氨基酸中，除甘氨酸外，其余都是手性分子，且都是L型（如图6-11）。

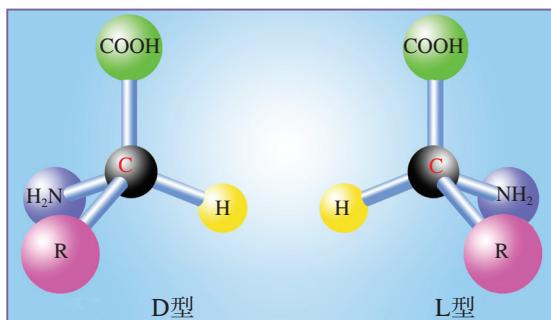


图 6-11 α -氨基酸分子的手性

由于氨基酸的系统命名通常比较复杂，实际使用较多的是其俗名。在表示多肽和蛋白质结构时，普遍使用的是氨基酸的缩写。

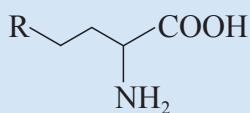
通常情况下，氨基酸的英文缩写取其英文名称前三个字母，中文缩写则将其俗名中的“氨酸”省略。如甘氨酸（glycine）的英文缩写为“Gly”，中文缩写为“甘”；亮氨酸（leucine）的英文缩写为“Leu”，中文缩写为“亮”。



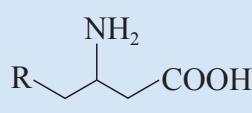
方法导引

氨基酸的结构特点

从结构上看，氨基酸就是带有氨基的羧酸。羧酸分子中烃基上的一个或几个氢原子被氨基取代后生成的化合物称为氨基酸。根据氨基和羧基的相对位置，氨基酸可以分为 α -氨基酸、 β -氨基酸等。自然界中最常见的为 α -氨基酸。



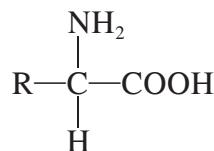
α -氨基酸



β -氨基酸

图 6-12 氨基酸的结构

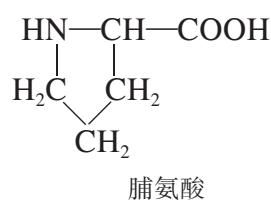
第一种氨基酸早在200多年前就已被发现，而第20种氨基酸是在1935年才被发现的。它们在化学结构上都具有共同特征，如 α -氨基酸的结构通式可表示为：



通式中，R代表不同的基团， α -氨基酸的结构相似，不同的 α -氨基酸只是R基不同。

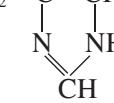
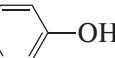
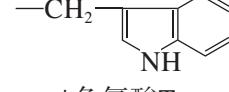


例如，常见氨基酸中甘氨酸、脯氨酸的结构如下所示。



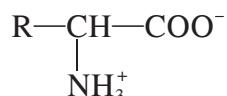
拓展视野

常见 α -氨基酸的R基和英文缩写

$-\text{H}$ 甘氨酸Gly	$-\text{CH}_3$ 丙氨酸Ala	$-\text{CH}-\text{CH}_3$ CH_3 *缬氨酸Val
$-\text{CH}_2\text{CHCH}_3$ CH_3 *亮氨酸Leu	$-\text{CHCH}_2\text{CH}_3$ CH_3 *异亮氨酸Ile	$-\text{CH}_2-$  *苯丙氨酸Phe
$-\text{CH}_2\text{SH}$ 半胱氨酸Cys	$-(\text{CH}_2)_2\text{SCH}_3$ *蛋氨酸Met	$-\text{CH}_2\text{OH}$ 丝氨酸Ser
$-\text{CH}-\text{CH}_3$ OH *苏氨酸Thr	$-(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$ 谷氨酸Glu	$-\text{CH}_2\text{COOH}$ 天冬氨酸Asp
$-\text{CH}_2\text{C}(=\text{O})\text{NH}_2$ 天冬酰胺Asn	$-(\text{CH}_2)_2\text{C}(=\text{O})\text{NH}_2$ 谷氨酰胺Gln	$-(\text{CH}_2)_4\text{NH}_2$ *赖氨酸Lys
$-\text{CH}_2-\text{C}(\text{=CH})\text{NH}$  组氨酸His	$-(\text{CH}_2)_3\text{NHC}(=\text{NH})\text{H}_2$ 精氨酸Arg	
$-\text{CH}_2-$  -OH 酪氨酸Tyr	$-\text{CH}_2-$  *色氨酸Trp	

表中带“*”的是人体内不能合成的8种 α -氨基酸，它们又称为必需氨基酸；人体合成精氨酸和组氨酸的能力也较差，这两种氨基酸被称为半必需氨基酸。人体若缺少这些氨基酸，就会引起病症。

从结构上推测，氨基酸分子中含有的氨基（ $-\text{NH}_2$ ），应具有一定的碱性；氨基酸分子中含有的羧基，又能表现出一定的酸性。实验也证明，氨基酸具有氨基和羧基的典型反应，如与酸的反应、酯化反应等，因此氨基酸也被称为两性化合物。氨基酸分子中的氨基和羧基发生相互作用，使氨基酸成为带有正电荷和负电荷的两性离子（称为内盐）：



学以致用



许多胺和羧酸能溶于乙醚中，氨基酸却不能。请解释原因。

固态氨基酸主要以内盐形式存在，熔点较高，不易挥发，难溶于有机溶剂。常见的氨基酸均为无色结晶，熔点在200℃以上。

实验探究



下列实验能帮助我们认识检验氨基酸的方法。

【实验1】取1 mL 0.1%的茚三酮溶液，加入1%的甘氨酸溶液，将试管放入热水浴中，观察现象。

【实验2】用色氨酸溶液替代甘氨酸溶液，重复上述实验。

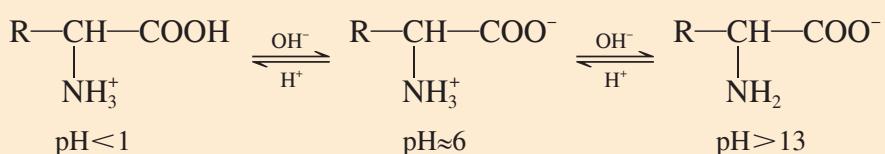
上述实验也称为茚三酮反应，可得到紫蓝色的化合物。凡含有一 NH_2 的 α -氨基酸遇茚三酮均显紫色反应。该反应非常灵敏，是鉴定氨基酸最简便的方法。人的手汗中含有多种氨基酸，遇茚三酮可起显色反应，在法医学上曾通过该反应检验指纹。

学科提炼



溶液酸碱性对氨基酸存在形态的影响

氨基酸是两性化合物，既能与酸发生反应，又能与碱发生反应。水溶液的pH不同，氨基酸在溶液中存在的形态也不同。



在近中性溶液中，氨基酸的主要存在形式为两性离子；在强酸性溶液（pH<1）中，氨基酸主要以阳离子形式存在；在强碱性溶液（pH>13）中，氨基酸主要以阴离子形式存在。改变溶液的酸碱性时，上述平衡也会发生相应移动，最终决定氨基酸的不同存在形态和电性。



实验表明，当溶液中的氨基酸主要以两性离子的形态存在时，它在水中的溶解度最小，可以形成晶体析出。不同的氨基酸出现上述变化的pH各不相同，利用这一差异，可以通过控制溶液的pH分离不同的氨基酸。在多肽和蛋白质分子中，也存在氨基和羧基，同样可以通过这种方法分离它们。



方法导引

肽键的形成和肽的水解

一分子 α -氨基酸中的羧基与另一分子 α -氨基酸中的氨基可以发生像酯化反应那样的脱水反应，形成肽键（酰胺键）。我们通常把氨基酸分子间脱水的反应称为氨基酸的缩合反应，得到的产物称为肽，组成肽的氨基酸单元称为氨基酸残基。二肽分子中含2个氨基酸残基，三肽分子中则含3个氨基酸残基。通常把有氨基的一端叫N端，写在左边；有羧基的一端叫C端，写在右边。一般用氨基酸的缩写从左到右排列来表示肽分子的结构，图6-13所示的二肽可简写为Gly-Ala（或甘-丙）。

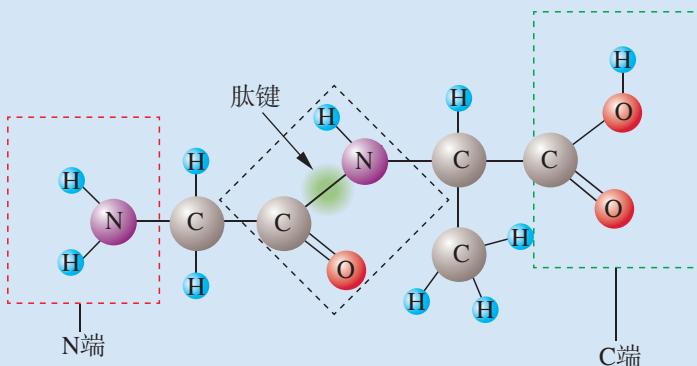


图 6-13 链状二肽的分子结构模型

与酯能水解生成羧酸和醇一样，肽也可以在一定条件下水解生成氨基酸。



学以致用

思考以下问题有助于我们了解肽键的形成和肽的水解。

1. 甘氨酸和丙氨酸的混合物在一定条件下可发生反应生成链状二肽，试判断能得到几种二肽，并写出二肽的结构简式。
2. 三肽Val-Ala-Gly在一定条件下可以水解生成氨基酸。请写出其水解产物的结构简式。

氨基酸在结合成肽时，能够形成的异构体的种类十分繁多。随着形成肽键的氨基酸的种类以及肽链长度的增加，理论上形成肽的种类将大幅度增加。例如，3个不同的氨基酸可以形成6种不同的三肽，由4个不同的氨基酸可以形成24种不同的四肽，以此类推。可见，氨基酸的种类和连接方式的不同，形成了种类繁多、结构各异的蛋白质。

蛋白质的结构与性质

蛋白质是由氨基酸通过肽键等相互连接而形成的一类具有特定结构和一定生物学功能的生物大分子。蛋白质是细胞和组织结构的最重要组成部分，它存在于一切生物体中。整个生物界有 $10^{10} \sim 10^{12}$ 种蛋白质，其结构十分复杂，目前为人们所认识的还非常少。

在生物体内，蛋白质是实现各种生物学功能的载体，有些蛋白质负责输送氧气（血红蛋白），有些在新陈代谢中起调节或催化作用（激素或酶），有些能预防疾病的发生（抗体），有些与遗传相关（核蛋白）。蛋白质和多肽都是由氨基酸构成的有机化合物，它们之间没有严格的界限。一般认为，多肽中包含4~50个氨基酸残基，蛋白质中包含50个以上的氨基酸残基。



方法导引

蛋白质的数目众多，结构复杂。研究发现，蛋白质可能包含一条或多条肽链，不同肽链中所包含的氨基酸数量以及它们的排列方式各不相同，多肽链本身以及多肽链之间还存在空间结构问题。因此，科学家们将蛋白质的结构按简单到复杂划分为不同的层级，分别对应蛋白质的一级、二级、三级和四级结构。

氨基酸残基在蛋白质肽链中的排列顺序称为蛋白质的一级结构（primary structure）。蛋白质的生物活性首先取决于蛋白质的一级结构。英国科学家桑格（F. Sanger）于1953年测定出牛胰岛素的一级结构（如图6-14），并因此获得1958年诺贝尔化学奖。目前，人类

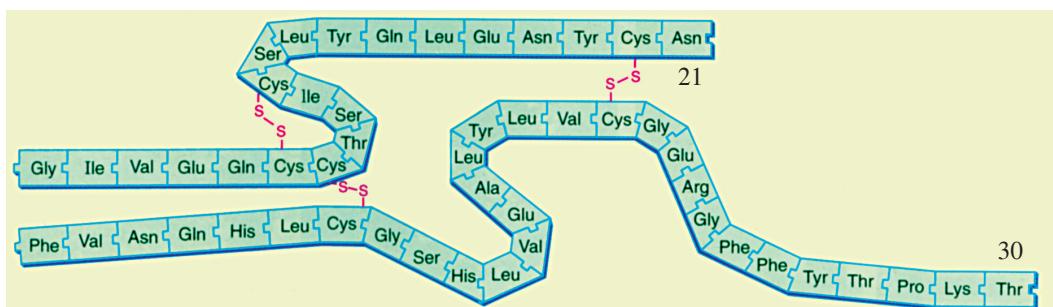


图 6-14 牛胰岛素的一级结构图示



已弄清楚数十万种蛋白质的氨基酸序列，每种蛋白质都有唯一而确切的氨基酸序列。

由蛋白质分子的变异或某种蛋白质的缺乏所导致的疾病，称为分子病（molecular disease），如镰刀型贫血症（sickle cell anemia）。此类疾病大多是蛋白质的氨基酸序列发生改变，分子结构发生变化，影响其正常功能的发挥。若人体内蛋白质的氨基酸序列发生改变，则可能会引起疾病。



跨学科链接

镰刀型贫血症

镰刀型贫血症是一种严重的致死性遗传疾病，患者红细胞的数目仅为正常人的一半，红细胞外形呈现出长而薄的镰刀状异常形态。镰刀型贫血症是人类发现的第一种分子病，它是由于蛋白质分子中一个氨基酸的差异而引起的疾病。正常人的血红蛋白（HbA）与镰刀型贫血症患者的血红蛋白（HbS）相比较，其 β 链N-6位上的氨基酸不同，正常人是谷氨酸，患者是缬氨酸。



正常人的红细胞



镰刀型贫血症患者的红细胞

图 6-15 正常人和镰刀型贫血症患者的血红蛋白

科学家经过多年的研究发现，只有从生物大分子的三维结构上才能理解它们的功能和作用机理，揭示生命活动的本质。蛋白质分子中肽链并非直链状，而是按一定的规律卷曲或折叠形成特定的空间结构，这是蛋白质的二级结构（secondary structure）。

蛋白质的二级结构由美国科学家鲍林（L. Pauling）和科里（R. B. Corey）共同研究发现，1948年他们提出了蛋白质的 α -螺旋结构，1952年又提出了蛋白质的 β -折叠结构。蛋白质的二级结构主要依靠肽链中氨基酸残基亚氨基（—NH—）上的氢原子与羰基上

的氧原子之间形成的氢键而实现。无论是 α -螺旋结构还是 β -折叠结构，空间形状都有一定的规律（如图6-16）。

在二级结构的基础上，肽链还按照一定的空间结构进一步形成更复杂的三级结构（tertiary structure）。肌红蛋白、血红蛋白等正是通过这种结构使其表面的空穴恰好容纳一个血红素分子（如图6-17）。

具有三级结构的多肽链接一定的空间排列方式结合在一起形成的聚集体结构称为蛋白质的四级结构（quaternary structure）。研究发现，血红蛋白由四个具有三级结构的多肽链构成，其中两个是 α -链，另两个是 β -链，其四级结构近似椭球形状（如图6-18）。

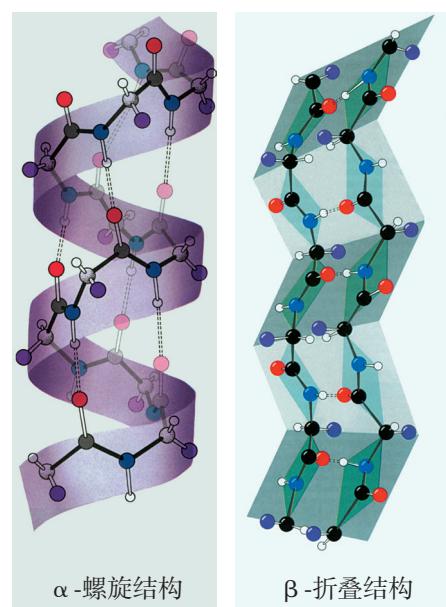


图 6-16 蛋白质的二级结构模型

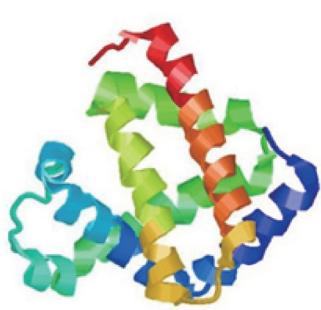


图 6-17 肌红蛋白的三级结构模型

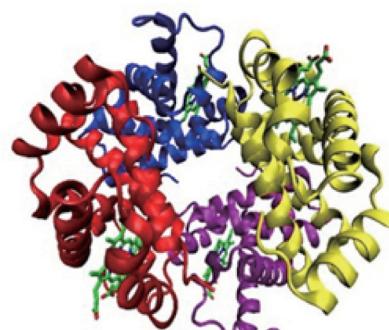


图 6-18 血红蛋白的四级结构模型



跨学科链接

运用现代仪器测定蛋白质结构

蛋白质的四级结构非常复杂，吸引了不少化学家、物理学家、生物学家从事这一领域的研究。自20世纪80年代以来，培养蛋白晶体的技术和测定效率越来越高，较小的蛋白质分子在溶液中的构象已可运用多维核磁共振（NMR）方法测定。探索一级结构和高级结构之间的内在关系，以及从一级结构出发结合同源蛋白的已知结构推断、预测高级结构的工作也已有不少进展。可以说，化学之所以能够大步迈进生物学，成为分子生物学研究的重要基础，很大程度上与核磁共振和晶体衍射仪在测定蛋白质结构和核酸序列上所发挥的重要作用是分不开的。



蛋白质的基本组成单位是氨基酸，因此，它和氨基酸有部分相似的物理、化学性质，如和氨基酸一样，蛋白质也是两性化合物，与酸或碱作用都能生成盐；蛋白质也能和茚三酮反应生成有颜色的产物。但由于其结构上的特殊性，它又有一些自身特有的性质。



实验探究

下列实验能够帮助我们认识蛋白质的一些性质。

1. 完成下列实验，观察并记录实验现象。

【实验1】取1 mL蛋白质溶液于试管中，逐滴加入饱和硫酸铵溶液，振荡至出现沉淀。取少量沉淀物于另一支试管中，向试管中加入蒸馏水，不断振荡。

【实验2】按照实验1的步骤，试验下列溶液与蛋白质作用的情况。

- ① 饱和硫酸钠溶液，② 硝酸银溶液，③ 硫酸铜溶液，
④ 乙酸铅溶液，⑤ 95%的乙醇溶液，⑥ 饱和苯酚溶液。

【实验3】取3 mL蛋白质溶液于试管中，将试管放在酒精灯火焰上加热。待试管冷却后，取少量沉淀物于另一支试管中，向试管中加入蒸馏水，不断振荡。

2. 请将实验现象填入下表。你能根据这些现象把蛋白质的变化简单分类吗？请说说你分类的理由。

实验	实验现象	分类及分类依据
实验1		
实验2		
实验3		

蛋白质是高分子化合物，分子颗粒的直径大小在胶粒范围内（1~100 nm），所以，将蛋白质溶于水会形成胶体。向蛋白质溶液中加入浓的无机盐溶液（如饱和硫酸铵溶液、硫酸钠溶液等），能够破坏蛋白质溶解形成的胶体结构而降低蛋白质的溶解性，使蛋白质转变为沉淀析出，这种作用称为**盐析**（salting-out）。盐析作用析出的蛋白质仍然具有原来的活性，加水后仍能溶解。因此，盐析常用于分离、提纯蛋白质。



学以致用

请从胶体结构的角度，分析在蛋白质溶液中加入电解质产生盐析的原因。

蛋白质遇到重金属盐、强酸、强碱、甲醛、酒精等物质也会生成沉淀，但与盐析不同的是，析出的沉淀不能在水中重新溶解，蛋白质将失去原来的活性。蛋白质的这种变化叫做**变性**（denaturation）。用紫外线、X射线等照射蛋白质，或者给蛋白质加热都能使蛋白质变性。

实验探究



下列实验能帮助我们认识检验蛋白质的方法。

【实验1】取蛋白质溶液2 mL于试管中，加入1 mL浓硝酸，微热，观察现象。

【实验2】取蛋白质溶液1 mL于试管中，加入1 mL 10%的氢氧化钠溶液，再加入3~4滴1%的硫酸铜溶液，不断振荡，观察现象。

【实验3】取蛋白质溶液2 mL于试管中，加入0.1%的茚三酮溶液5滴，加热至沸腾，观察现象。

你能设计实验证明豆浆、牛奶中含有蛋白质吗？

在过量的氢氧化钠溶液中加入硫酸铜溶液，可制得双缩脲试剂，蛋白质遇该试剂时会呈现紫玫瑰色，含有两个及两个以上肽键的化合物均能发生该反应；含有苯环的蛋白质与浓硝酸作用时会产生黄色固态物质。通常情况下，检验蛋白质可以采用上述颜色反应。



跨学科链接

中国人类蛋白质组计划研究成果

“中国人类蛋白质组计划（CNHPP）”在2014年6月10日全面启动实施，这是中国科学界乃至世界生命科学领域一件具有里程碑意义的大事。人们希望在不久的将来，蛋白质组学能成为寻找疾病分子标记和药物靶标最有效的方法之一，并应用于人类许多疾病的临床诊断和治疗。

2018年3月8日，国际著名期刊《自然·通讯》在线发表了中国军事科学院军事医学研究院与北京大学肿瘤医院共同开展的弥漫型胃癌蛋白质组研究成果。该成果显示，蛋白质可以为临床科学提供重要而全面的信息，有可能成为未来对胃癌患者开展精准医疗的直接依据。该成果标志着“中国人类蛋白质组计划”攻克了第一座以蛋白质组分型为主要参照标准的精准医学“城池”。利用蛋白质组分析技术诊断胃癌就像是为肿瘤“画像”。该技术可以给每位患者画一张健康组织的



像和一张肿瘤组织的像，然后通过比较找到健康组织“相貌”与肿瘤“相貌”的区别，从而判断患者究竟患了哪种病。

这次胃癌蛋白质组分子分型的研究成果只是第一步，后续还有一系列的研究随之跟进，汇聚起来会形成研究“蛋白质组学驱动的精准医学”的新热潮。个体化治疗、精确性治疗、靶向治疗等新的治疗手段、治疗策略和治疗思路将会大量涌现。

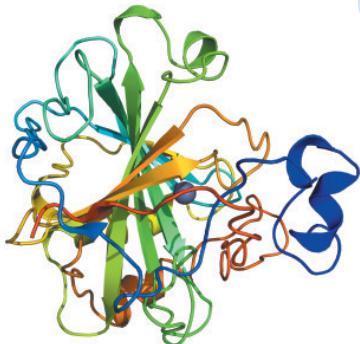


图 6-19 碳酸酐酶的结构模型

在生命活动中，几乎所有的化学变化都是在酶（enzyme）的催化作用下完成的。酶是活细胞产生的一类具有催化功能的生物分子，绝大多数的酶是蛋白质。酶催化反应具有条件温和、效率高、高度专一等特点。在人的消化液中，蛋白酶只能催化蛋白质水解，脂肪酶只能催化脂肪水解。假如人的消化液中没有酶，完全消化一顿饭竟需要漫长的50年！



实验探究

过氧化氢酶是一种普遍存在于动植物体内的酶，它是一种蛋白质。下列实验中我们采用新鲜的动物肝脏作为过氧化氢酶的来源，帮助我们认识酶的催化作用。

【实验】各取3 mL 2%的H₂O₂溶液于两支试管中，分别向其中加入等质量的新鲜动物肝糜和煮熟的动物肝糜，观察现象。

1. 请提出影响酶催化活性主要因素的假设，说明你假设的依据。
2. 设计探究方案证明你所提出的假设。
3. 分析实验结果是否支持假设。

通过分析上述实验现象，可以得到以下结论：酶在较高温度下会失去催化活性。只有在合适的温度下，才能发挥酶的催化作用。此外，溶液的pH太高或太低，以及重金属离子的存在都会降低酶的催化活性。



拓展视野

酶的催化作用

酶是生物新陈代谢的催化剂，它的催化作用非常复杂。科学家研究发现，酶的催化机理经历下列四个步骤：反应物与酶

结合形成配合物，反应物变成激活状态，产物在酶表面形成，产物从酶的表面释放。科学家认为，酶分子中真正起催化作用的是酶的活性部位（active site）。不同的酶除了具有不同的一级结构外，还具有特殊的空间结构。酶分子中肽链通过折叠、螺旋或缠绕形成了活性空间，即酶的活性部位。反应过程中，反应物就结合在活性部位上。活性部位的形状是特别为有关反应物而设计的，酶的这种特性，可以用“锁钥理论”来解释。只有反应物与酶的活性部位吻合，就像锁和它的钥匙那样，酶才有催化作用（如图6-20）。

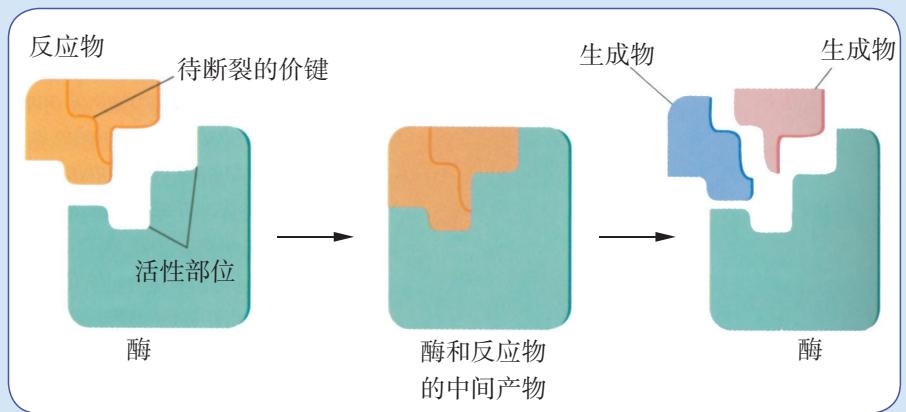


图 6-20 酶催化作用的“锁钥理论”示意图

核酸的结构及生物功能

核酸（nucleic acid）存在于一切生物体中，最早从细胞核中提取得到。核酸包括核糖核酸（RNA）和脱氧核糖核酸（DNA）两大类。核酸是遗传物质的载体，DNA和RNA通过核酸序列编码遗传信息，从而指导蛋白质的合成，并进一步确定生命的形式。核酸研究是近年来生物化学、有机化学以及医学中最活跃的领域。迄今为止，已有40多位科学家因研究内容涉及核酸而荣获诺贝尔奖。

在生物体内，核酸主要以与蛋白质结合成核蛋白的形式存在于细胞中（如图6-21）。核蛋白水解后能得到核酸，核酸是核蛋白的非蛋白部分。核酸可以进一步水解，得到核苷酸，核苷酸则由碱基、戊糖及磷酸组成。核酸中的戊糖可以为核糖或脱氧核糖，对应的核酸分别为RNA和DNA。核酸水解得到的碱基有腺嘌呤（A）、鸟嘌呤（G）、胞嘧啶（C）、尿嘧啶（U）和胸腺嘧啶（T）五种，RNA只能得到腺嘌呤、鸟嘌呤、胞嘧啶和尿嘧啶，DNA只能得到腺嘌呤、鸟嘌呤、胞嘧啶和胸腺嘧啶。

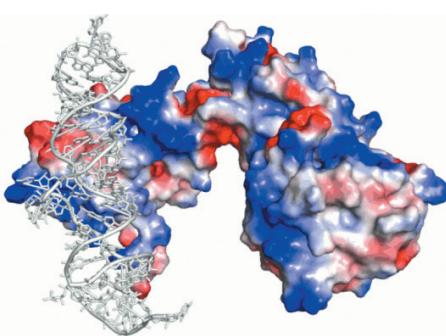


图 6-21 与蛋白质结合在一起的RNA



在核酸的结构中，碱基与戊糖通过脱水缩合形成核苷，核苷分子中戊糖上的羟基与磷酸脱水，通过磷酯键结合形成核苷酸，不同的核苷酸按一定的顺序通过磷酯键连接成一条很长的链，称为核酸。和蛋白质类似，核酸也有一级结构、二级结构和三级结构。核酸的一级结构是指组成核酸的核苷酸排列顺序，核酸的二级结构和三级结构是指核酸的空间结构。例如，DNA的双螺旋结构（如图6-23）就是核酸的二级结构，在DNA的双螺旋结构中，不同的碱基通过氢键两两配对。碱基配对存在着严格的关系，即一条链上的碱基A与另一条链上的碱基T通过两个氢键配对；同样，G和C之间通过三个氢键配对，这一规律称为碱基互补配对原则。

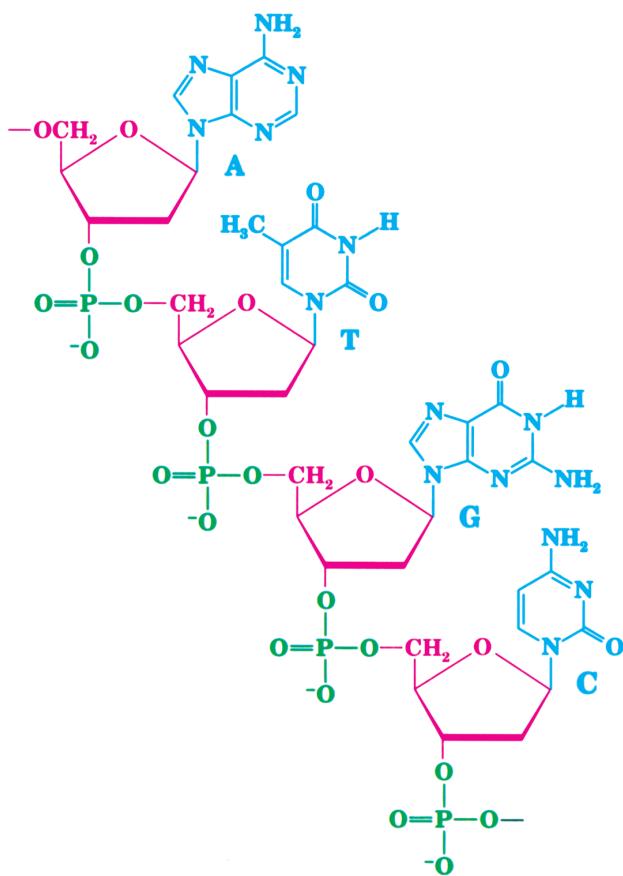


图 6-22 磷酸、碱基和戊糖结合成的DNA单链片段

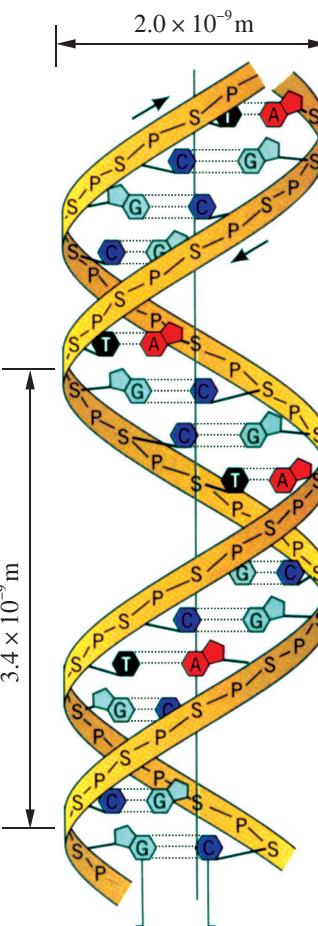


图 6-23 DNA的双螺旋结构示意图



科学史话

DNA的双螺旋结构

1953年，科学家提出了DNA的双螺旋结构（如图6-23），从而使遗传学研究从宏观的观察进入到微观的分子水平。

他们认为DNA分子由两条DNA单链组成，DNA的双螺旋结构是DNA中两条单链之间相互识别的结果。DNA分子中两条单链沿着同一根轴平行盘绕，形成右手双螺旋结构，碱基位于螺旋内侧，磷酸和脱氧核糖位于螺旋外侧。形成DNA双螺旋结构的原因是两条DNA单链上的碱基之间严格遵循碱基互补配对规律，即腺嘌呤（A）与胸腺嘧啶（T）结合，鸟嘌呤（G）与胞嘧啶（C）结合。

DNA主要存在于细胞核中，是遗传信息的储存和携带者，DNA的结构决定了生物合成蛋白质的特定结构，并保证把这种特性遗传给下一代（如图6-24）。RNA主要存在于细胞质中，它们以DNA为模板而形成，将DNA的遗传信息翻译并表达成具有特定功能的蛋白质。



拓展视野

基因工程

DNA在细胞核中与蛋白质结合构成染色体，在染色体上常以基因（gene）为遗传单位记录该生物体内所有的遗传信息。基因的化学本质是代表某一遗传性状的核苷酸序列。基因工程是通过类似工程设计的方法，将来源不同的“目的基因”在体外重新组合，并将其导入宿主细胞的DNA分子中，通过细胞增殖，使DNA重组得到扩大，并大量表达该基因的产物（蛋白质）的技术。基因工程已广泛应用于农业、畜牧业、医学、生物制药等领域。如基因工程制造的“超级细菌”能吞食和分解多种污染环境的物质，基因工程还培育了具有特殊用途的动植物，基因工程中的基因疗法为一些疑难杂症的治疗提供了新的途径。1990年，美国成功实施了世界首例基因疗法手术，短暂治愈了两位罹患遗传性先天免疫缺陷症（SCID）的4岁女孩。该手术利用病毒在患者体内植入她们缺少的“正确”基因。从1990年至今，美国食品药品监督管理局（简称FDA）批准了约2 000例基因疗法的临床手术，成功治疗先天免疫缺陷症、先天黑蒙症、先天肾上腺白细胞营养不良症（ALD）、慢性骨髓型白血病以及阿尔茨海默病。

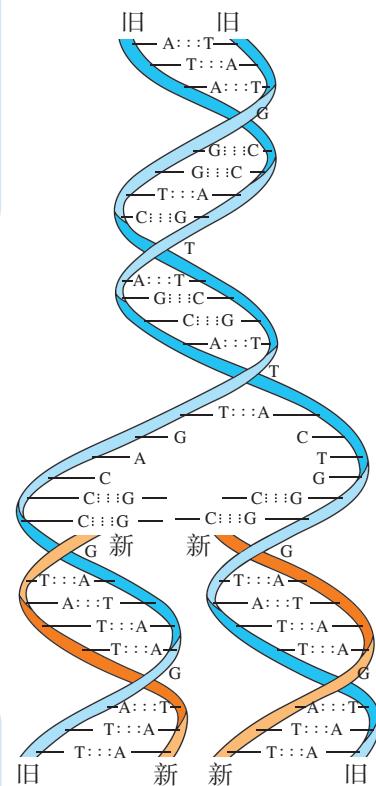
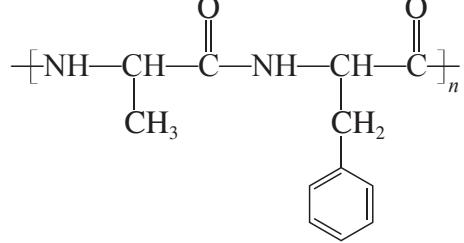


图 6-24 DNA的复制



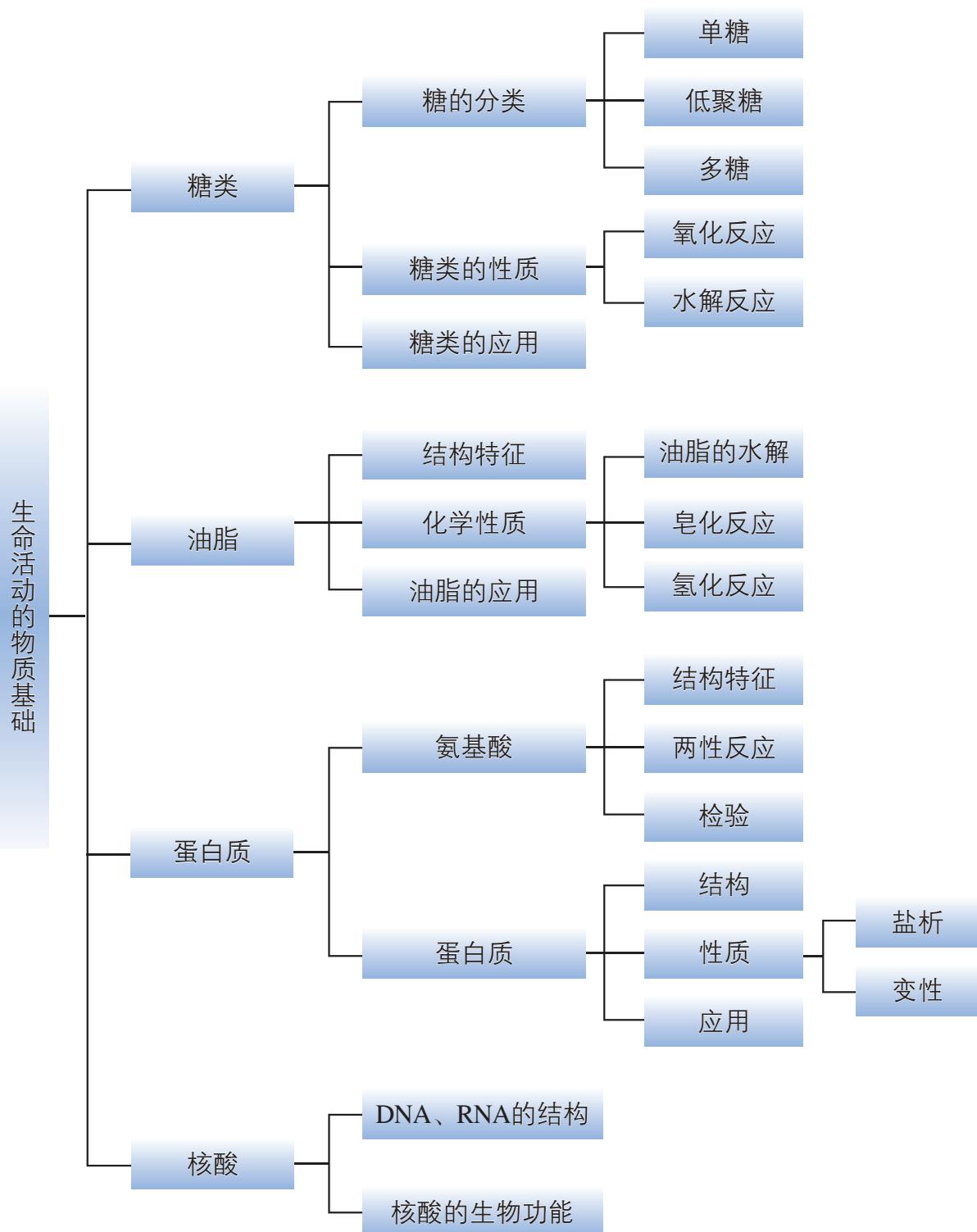
理解应用

1. 使蛋白质从水中析出并保持其生理活性，可以加入下列溶液中的（ ）
A. 硫酸铜溶液 B. 浓硫酸
C. 福尔马林 D. 饱和硫酸钠溶液
2. 下列关于酶的叙述不正确的是（ ）
A. 酶是一种氨基酸 B. 酶的催化条件通常较温和
C. 酶是生物体中重要的催化剂 D. 酶在重金属盐作用下会失去活性
3. 氨基酸在不同的酸碱性条件下以什么离子形态存在？在溶液中分离氨基酸的原理是什么？
4. 下图是由两种氨基酸分子间互相结合而成的高分子化合物，试写出其水解后两种产物的结构简式：_____、_____。



5. 回答下列问题：
 - (1) 为什么医院里用高温蒸煮、照射紫外线、涂抹酒精溶液等方法来消毒杀菌？
 - (2) 为什么生物实验室中用甲醛溶液保存动物标本？
 - (3) 误食重金属盐中毒时，应该怎样处理？
6. 以“有机化学在现代生命科学发展中的重大作用”为题，写一篇小论文。

建构整合





回顾与总结



请参照下列问题或线索，回顾和总结本专题的学习内容。

- ✓ 生命活动所需能量主要来源于哪些物质？
- ✓ 糖类是如何分类的？单糖、低聚糖、多糖之间有什么联系？
- ✓ 葡萄糖、果糖分子组成和结构上有何异同？
- ✓ 葡萄糖有哪些化学性质？如何通过实验来证实？
- ✓ 怎样用实验方法检验葡萄糖？
- ✓ 举例说明低聚糖、多糖的化学性质。
- ✓ 自然界中哪些物质含有比较丰富的糖类？
- ✓ 举例说明糖类化合物的重要用途。
- ✓ 纤维素、甲壳素等在结构上有哪些异同？
- ✓ 比较蔗糖和纤维素的水解反应，两者有何不同？
- ✓ 举例说明常见油脂的来源和结构。
- ✓ 脂肪和油都属于油脂，两者有什么不同？
- ✓ 在生命体内油脂是如何被氧化的？
- ✓ 列举人体必需脂肪酸，说明它们的作用。
- ✓ 油脂有哪些典型的化学性质？请举例说明。
- ✓ 举例说明氨基酸的结构特点和主要性质。
- ✓ 溶液的酸碱性对氨基酸存在形态有何影响？
- ✓ 举例说明肽键的形成和肽的水解。
- ✓ 为什么科学家将蛋白质的结构层次分为四级进行研究？
- ✓ 简要描述蛋白质主要的化学性质和检验方法。
- ✓ 简要描述核酸的结构及其对生命活动的重要影响。
- ✓ 为什么说糖类、油脂、氨基酸、蛋白质等是生命活动的物质基础？
- ✓ 有机化学研究与生命科学发展的关系如何？请举例说明。

综合评价

1. 下列实验操作，能达到预期目的的是（ ）

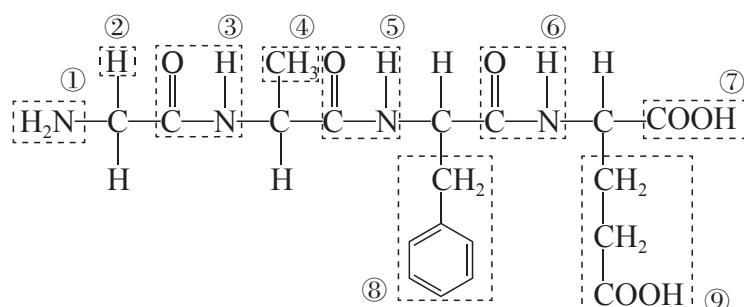
- A. 取淀粉水解液，加银氨溶液，观察是否有银镜生成，判断淀粉是否水解
- B. 将饱和 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 溶液加入鸡蛋清溶液中，以提取鸡蛋清
- C. 用碘水可以检验淀粉是否发生水解
- D. 在油脂中加入淀粉酶，以促进油脂水解

2. 棉籽和甜菜中含有棉籽糖。棉籽糖水解时，1分子棉籽糖在一定条件下可水解为1分子蔗糖和1分子半乳糖（半乳糖和葡萄糖互为同分异构体），则棉籽糖的分子式为_____。如果使1 mol棉籽糖完全水解，则生成_____、_____和_____各1 mol。

3. 完成下列反应的化学方程式。

- (1) 2分子甘氨酸脱水缩合形成二肽。
- (2) 苯丙氨酸经缩聚反应生成链状高分子化合物。

4. 我国科学家在研究有机分子簇集和自由基化学领域中曾涉及如下有机物。



该化合物中，官能团⑦的名称是_____，官能团①的电子式是_____。

该化合物是由_____个氨基酸分子脱水形成的。写出该化合物水解生成的氨基酸的结构简式：_____。

写出其中一种氨基酸与氢氧化钠溶液反应的化学方程式：_____。

5. 纤维素的组成可以用 $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ 表示，其中重复的单元称为葡萄糖单元。已知某种棉花纤维的平均相对分子质量为174 960。

- (1) 这种纤维素中平均每个分子含有多少个葡萄糖单元？
- (2) 3.24 g上述纤维素与足量的醋酸酐作用，得到醋酸纤维5.76 g，则平均每个葡萄糖单元有多少个醇羟基被酯化？



附录 中英文名词对照表

有机化合物	organic compound	7
基团	group	10
核磁共振波谱	nuclear magnetic resonance spectroscopy	10
红外光谱	infrared spectroscopy	10
反应机理	reaction mechanism	13
同位素示踪法	isotopic tracer method	14
结构式	structural formula	26
结构简式	condensed structural formula	26
键线式	bond-line formula	26
同分异构现象	isomerism	28
同分异构体	isomer	28
对映异构体	enantiomer	33
手性分子	chiral molecule	34
手性碳原子	chiral carbon atom	34
官能团	functional group	38
同系物	homologue	38
通式	general formula	39
烃	hydrocarbon	52
不饱和烃	unsaturated hydrocarbon	52
饱和烃	saturated hydrocarbon	52
烷烃	alkane	53
烯烃	alkene	53
炔烃	alkyne	53
加聚反应	addition polymerization reaction	55
单体	monomer	55
链节	chain unit	55
聚合度	degree of polymerization	55
石油化工产品	petrochemical	57
石油产品	petroleum product	57
分馏	fractionation	59
裂化	cracking	60
催化裂化	catalytic cracking	60
热裂化	thermal cracking	60
裂解	pyrolysis	60
芳烃	arene	64
苯	benzene	64
醇	alcohol	78
消去反应	elimination reaction	81

甲醇	methanol	83
酚	phenol	85
茶多酚	tea polyphenols	88
醛	aldehyde	92
羧酸	carboxylic acid	92
甲醛	methanal	93
乙醛	ethanal	93
福尔马林	Formalin	93
酚醛树脂	phenolic resin	95
缩聚反应	condensation polymerization reaction	95
脲醛树脂	urea-formaldehyde resin	95
有机玻璃	polymethyl methacrylate	98
乙酸	acetic acid	99
卤代烃	halohydrocarbon	110
胺	amine	119
酰胺	acylamide	119
糖类	carbohydrate	140
葡萄糖	glucose	141
果糖	fructose	141
蔗糖	sucrose	143
麦芽糖	maltose	143
纤维素	cellulose	144
淀粉	starch	144
油脂	oils and fats	148
皂化反应	saponification reaction	150
蛋白质	protein	152
氨基酸	amino acid	152
甘氨酸	glycine	153
亮氨酸	leucine	153
一级结构	primary structure	157
分子病	molecular disease	158
镰刀型贫血症	sickle cell anemia	158
二级结构	secondary structure	158
三级结构	tertiary structure	159
四级结构	quaternary structure	159
盐析	salting-out	160
变性	denaturation	161
酶	enzyme	162
活性部位	active site	163
核酸	nucleic acid	163
基因	gene	165

后记



CHINESE
HIGH SCHOOL
CHEMISTRY

2003年，教育部颁布了《普通高中化学课程标准（实验）》，确定了高中化学课程由必修、选修两大部分组成。其中，必修教材2册（化学1、化学2），选修教材6册（化学与生活、化学与技术、物质结构与性质、化学反应原理、有机化学基础、实验化学）。苏教版教材由高中化学课程标准研制组组长、华东师范大学博士生导师王祖浩教授任主编，以高中化学课程标准研制组多位核心成员为主体进行了设计和编写。教材在15年左右的使用、修改基础上不断完善，形成了自己的特色。

2017年教育部完成了对普通高中课程标准的修订，颁布《普通高中化学课程标准（2017年版）》。该标准弘扬立德树人，坚持继承发展，提出了化学学科核心素养，并将其贯通于高中化学课程之中。本套教材修订坚持思想性、时代性、科学性、实践性和继承性等原则，着力体现化学学科独特的育人价值。本编写组在依据课程标准修订教材的过程中，重点关注化学学科核心素养在教材中的具体落实，重建化学教材的内容结构，力求反映化学课程学习对学生未来发展的重要价值。本套修订教材于2019年经国家教材委员会审查通过。

《有机化学基础》的编写着眼于进一步提高学生的化学学科核心素养，从学生未来发展的需要出发建构有机化学的基础知识，帮助学生更深刻地认识有机化合物在人类生活和社会经济发展中发挥的重要作用，理解化学、技术、社会和环境之间的相互关系，掌握“绿色合成”的思想方法。编者在教材中创设了一系列有助于学生学习方式转变的教学情境，为学生更多地体验科学探究过程、形成科学态度和价值观提供了新的平台。本册教材由王祖浩教授任主编，张天若特级教师、正高级教师任副主编。参与编写、修改的有王祖浩、张天若、钟志健、王云生、毛明、曹坤、王峰、林建成、吴先强等老师。全书由王祖浩教授、张天若特级教师定稿。

本教材编写和修订一直得到教育部教材局、基础教育课程教材发展中心的关心和支持，得到国内化学界和化学教育界刘知新教授、严宣申教授等著名老一辈专家的指导。原版编者早年付出了辛勤劳动，长期使用本教材的中学化学教师、教研员提出了不少建设性的意见，教材试教和协助拍摄单位给予了大力支持，华东师范大学为教材编写和修订提供了良好的条件，江苏凤凰教育出版社责任编辑李婷婷、丁金芳和美术编辑张金风、王怡等同志为教材的高质量出版付出了辛劳，黄志华、王澍、宋惠民、王艳春、梁雪峰、金剑锋等老师在本教材编写、修订过程中给予了具体的帮助，我们在此一并表示由衷的感谢。

苏教版高中化学教材编写组

2022年11月

感谢您使用本书，您在使用本书时有建议或疑问，请及时与我们联系。

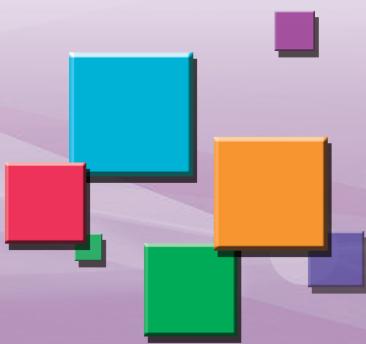
联系电话：025-83651380

电子邮箱：18319568@qq.com

普通高中教科书 化学

书 名 选择性必修3 有机化学基础
主 编 王祖浩
责任编辑 丁金芳 李婷婷
美术编辑 张金风 王 怡
出版发行 江苏凤凰教育出版社（南京市湖南路1号A楼 邮编 210009）
排 版 南京紫藤制版印务中心
印 刷 江苏凤凰盐城印刷有限公司（电话：0515-68013808）
厂 址 盐城市亭湖开发区希望大道中路70号（邮编 224001）
开 本 890毫米×1240毫米 1/16
印 张 11.25
版 次 2021年7月第1版
印 次 2025年6月第9次印刷
书 号 ISBN 978-7-5499-9225-6
定 价 13.33元
盗版举报 025-83658579
印装质量 4008283610

苏教版图书若有印装错误可向出版社联系调换



绿色印刷产品

审批号:苏费核(2024年)0178号 举报电话:12315

ISBN 978-7-5499-9225-6

9 787549 992256 >

定价:13.33元