

普通高中

# 化学

HUA XUE

## 教学参考资料

必修  
第二册

上海科学技术出版社

普通高中

化 学  
教学参考资料

必修 第二册

上海科学技术出版社

主 编：麻生明 陈 宾

副 主 编：占小红

编写人员：(以姓氏笔画为序)

匡云艳 刘永梅 刘丽君 李锋云 余 瑾

陆晨刚 陆惠莲 姚秋平 钱林平 徐凯里

图书在版编目(CIP)数据

普通高中化学教学参考资料·必修·第二册 / 上海市中小学(幼儿园)课程改革委员会组织编写；麻生明，陈宾主编。—上海：上海科学技术出版社，2022.1(2023.1重印)  
ISBN 978-7-5478-5572-0

I. ①普… II. ①上… ②麻… ③陈… III. ①中学化学课—高中—教学参考资料 IV. ①G633.83

中国版本图书馆CIP数据核字(2021)第244416号

责任编辑：胡恺岩

封面设计：诸梦婷

**普通高中 化学教学参考资料 必修 第二册**

上海市中小学(幼儿园)课程改革委员会组织编写

---

出 版 上海世纪出版(集团)有限公司 上海科学技术出版社

(上海市闵行区号景路159弄A座9F-10F 邮政编码201101)

发 行 上海新华书店

印 刷 上海中华印刷有限公司

版 次 2022年1月第1版

印 次 2023年1月第3次

开 本 890毫米×1240毫米 1/16

印 张 12

字 数 304千字

书 号 ISBN 978-7-5478-5572-0/G · 1089

定 价 36.00元

---

版权所有·未经许可不得采用任何方式擅自复制或使用本产品任何部分·违者必究  
如发现印装质量问题或对内容有意见建议，请与本社联系。电话：021-64848025

# • 目 录 •

## 第 5 章 金属及其化合物 ..... 1

本章概述	1
5.1 金属的性质	5
5.2 重要的金属化合物	15
5.3 化学变化中的能量变化	26
本章教学案例	33
本章教学问题讨论与教学资源链接	41
本章习题分析与答案	51

## 第 6 章 化学反应速率和化学平衡 ..... 54

本章概述	54
6.1 化学反应速率	58
6.2 化学平衡	66
6.3 化工生产	72
本章教学案例	80
本章教学问题讨论与教学资源链接	88
本章习题分析与答案	103

## 第 7 章 常见的有机化合物 ..... 106

本章概述	106
7.1 饱和烃	110
7.2 不饱和烃	119
7.3 乙醇和乙酸	130
7.4 糖、油脂和蛋白质	137

本章教学案例 .....	145
本章教学问题讨论与教学资源链接 .....	153
本章习题分析与答案 .....	170

---

**《化学练习部分》参考答案 ..... 174**

# 第5章 金属及其化合物

## 本章概述

### ► 本章地位和内容结构

#### 一、本章地位

本章将开始系统学习金属及其化合物的相关知识。金属、非金属及其化合物形成了丰富多彩的物质世界。元素化合物知识是中学化学的基础知识，既可以为前面的化学实验和理论知识补充感性认识材料，又可以为后续的物质结构、化学反应原理等理论知识打下重要基础，并帮助学生认识化学在促进社会发展、改善人们的生活质量等方面起到的重要作用。学生在前面章节已经学习了非金属及其化合物的相关知识，了解并初步掌握了认识元素化合物知识的一般思路和方法，这有利于展开金属及其化合物知识的教学。

本章主要介绍钠、铁及其重要化合物的主要性质，可以促使学生联系原子结构与元素周期律的相关知识，以及离子反应、氧化还原反应等理论知识，深化对金属及其化合物性质的学习；结合化学实验探讨化学变化中的能量变化，促进学生发展“变化观念与平衡思想”的化学学科核心素养，为学生在选择性必修课程相关内容的学习奠定基础。

#### 二、《课程标准》要求

本章内容与《普通高中化学课程标准（2017年版2020年修订）》（以下简称《课程标准》）“课程内容”中“必修课程”的“主题2：常见的无机物及其应用”“主题3：物质结构基础与化学反应规律”直接对应，具体对应主题2的“元素与物质”“金属及其化合物”“物质性质及物质转化的价值”“学生必做实验”，以及主题3的“化学反应与能量转化”“学生必做实验”六个部分的内容。本章的具体内容要求和学业要求见表5-1。

表5-1 第5章内容要求和学业要求

内容要求		学业要求
元素与物质	认识元素可以组成不同种类的物质，根据物质的组成和性质可以对物质进行分类；同类物质具有相似的性质，一定条件下各类物质可以相互转化；认识元素在物质中可以具有不同价态，可通过氧化还原反应实现含有不同价态同种元素的物质的相互转化。	1. 能依据物质类别和元素价态列举某种元素的典型代表物。能利用电离、离子反应、氧化还原反应等概念对常见的反应进行分类和分析说明。 2. 能从物质类别和元素价态变化的视角说明物质的转化路径。

(续表)

内容要求		学业要求
金属及其化合物	结合真实情境中的应用实例或通过实验探究，了解钠、铁及其重要化合物的主要性质，了解这些物质在生产、生活中的应用。	1. 能列举、描述、辨识典型物质重要的物理和化学性质及实验现象。能用化学方程式、离子方程式正确表示典型物质的主要化学性质。 2. 能从物质类别、元素价态的角度，依据复分解反应和氧化还原反应原理，预测物质的化学性质和变化，设计实验进行初步验证，并能分析、解释有关实验现象。 3. 能利用典型代表物的性质和反应，设计常见物质制备、分离、提纯、检验等简单任务的方案。
物质性质及物质转化的价值	结合实例认识金属及其化合物的多样性，了解通过化学反应可以探索物质性质、实现物质转化，认识物质及其转化在促进社会文明进步、自然资源综合利用和环境保护中的重要价值。	1. 能根据物质的性质分析实验室、生产、生活及环境中的某些常见问题，说明妥善保存、合理使用化学品的常见方法。 2. 能说明常见元素及其化合物的应用（如金属冶炼）对社会发展的价值、对环境的影响。能有意识运用所学的知识或寻求相关证据参与社会性议题的讨论（如水体保护、食品安全等）。
化学反应与能量转化	认识物质具有能量，认识吸热反应与放热反应，了解化学反应体系能量改变与化学键的断裂和形成有关。知道化学反应可以实现化学能与其他能量形式的转化，以原电池为例认识化学能可以转化为电能，从氧化还原反应的角度初步认识原电池的工作原理。体会提高燃料的燃烧效率、开发高能清洁燃料和研制新型电池的重要性。	1. 能基于化学键解释某些化学反应的热效应。 2. 能举出化学能转化为电能的实例，能辨识简单原电池的构成要素，并能分析简单原电池的工作原理。 3. 能从物质及能量变化的角度评价燃料的使用价值。能举例说明化学电源对提高生活质量的重要意义。
学生必做实验	1. 铁及其化合物的性质。 2. 化学能转化成电能。	1. 能从物质类别、元素价态等角度，依据复分解反应和氧化还原反应原理，预测物质的化学性质和变化，设计实验进行初步验证，并能分析、解释有关实验现象。 2. 能举出化学能转化为电能的实例，能辨识简单原电池的构成要素，并能分析简单原电池的工作原理。

本章学习主要促进学生“宏观辨识与微观探析”“变化观念与平衡思想”“证据推理与模型认知”“科学探究与创新意识”和“科学态度与社会责任”等方面的化学学科核心素养的发展。本章的学科核心素养要求如下：

- 能借助实验认识金属的主要性质及其变化，对实验现象做出合理的解释，运用化学符号表征金属及其化合物的化学变化。
- 能根据以钠、铁为代表的金属及其化合物的化学性质，理解金属及其化合物的组成、结构、性质和变化；结合真实情境中的应用实例，认识金属及其化合物在促进社会文明进步、自然资源综合利用中的重要作用。
- 能基于实验现象和生活实例理解化学变化会伴随能量转化，了解化学反应中的能量改变与化学键的断裂、形成之间的关系，会用图示方法来表示吸热反应和放热反应；认识原电池、电解池可以实现化学能与电能之间的相互转化。
- 能理解化学、技术、社会和环境之间的相互关系，了解新能源（如燃料电池）的开发对实现简约适度、绿色低碳的生活方式的影响。

### 三、教材内容结构

本章内容包括金属的性质、重要的金属化合物和化学变化中的能量变化等知识。教材编写的内容结构如图 5-1 所示。

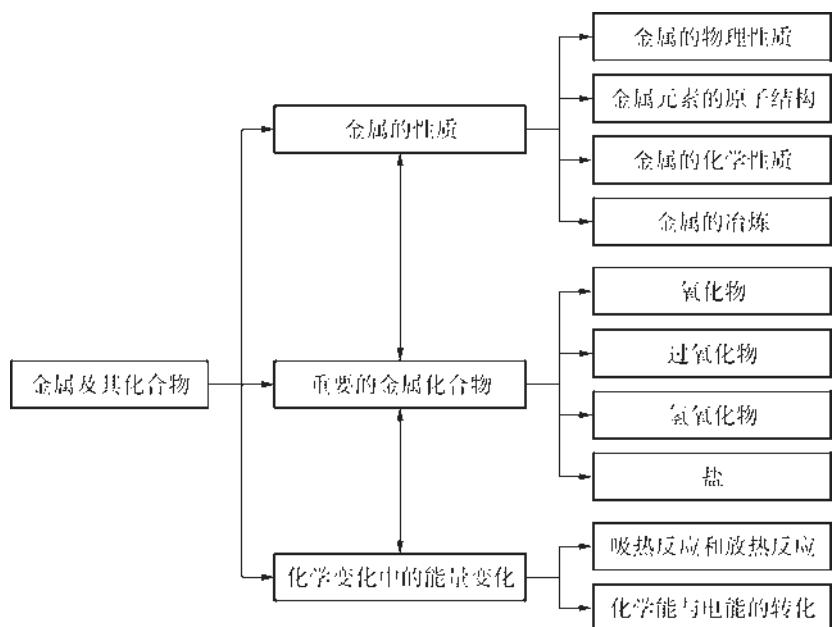


图 5-1 第 5 章内容结构

从整体上看，本章知识内容较多，但学生在初中已学习过一些金属及其化合物的知识，基于日常的生活经验对金属及其化合物也并不陌生，这有利于本章教学内容的展开。本章首先系统介绍了金属的性质与结构；再依据“氧化物—氢氧化物—盐”的顺序分别引导学生认识钠、铁等金属的重要化合物及其性质；最后利用铝热反应、铜—锌原电池等实验引出化学变化中的能量变化，并主要探讨化学能与热能、化学能与电能的转化。本章没有对每种金属及其化合物的性质进行全面介绍，对物质的化学性质也并不要求面面俱到，而是强调突出重点，既展现物质的共性，又突出物质的特性。此外，本章的内容选择较为关注化学知识与生产、生活实际的联系，重视通过化学实验观察和生活实例分析，揭示化学反应的规律。

## ▶ 本章教学与课时建议

### 一、教学建议

本章内容安排在元素周期律（表）与原子结构之后，具体介绍钠、铁及其化合物的知识。可根据钠、铁在元素周期表中的位置，利用原子结构、元素周期律的相关知识，以及离子反应、氧化还原反应的理论知识，引导学生认识钠、铁及其化合物的性质。教学中需要关注如下三条线索，一是钠与铁的单质、氧化物、碱、盐及其转化关系；二是基于具体金属及其化合物的反应事实认识化学变化中能量的转化；三是钠、铁及其化合物的性质与转化过程中体现的从个别到一般，再从一般到个别的认识

方法。

在“金属及其化合物”的教学中，按单质、氧化物、氢氧化物、盐的性质展开，可采用回顾与复习、实验探究、讨论交流、比较归纳等方式，让学生总结金属及其化合物的通性并进行差异分析。例如，在进行金属单质的教学时，先回顾金属的化学性质与金属活动性顺序的有关知识，再分析钠、铁等金属元素的原子结构特点，在此基础上，引导学生通过预测、实验、观察、符号表征等方法学习新内容，归纳总结金属通性。再如，对于氢氧化亚铁的制备，碳酸钠、碳酸氢钠的重要性质， $\text{Fe}^{3+}$ 的氧化性等，在教学中可以通过实验探究，让学生运用离子反应、氧化还原反应等理论解释物质的转化关系，并用符号进行表征。

在“化学变化中的能量变化”的教学中，可以“结构决定性质”的观念为基础，重点关注化学变化中的能量变化与转化，从研究化学反应中物质间的转化规律转为化学反应中能量的变化与转化，让学生能够从物质变化与转化、能量变化与转化等角度认识化学反应。教学中可从生产、生活中的现象引出问题，采用引导思考、讨论交流、实验探究、观察现象、分析比较、归纳总结等方法，促进学生认识化学反应中的能量变化及其原因，以及化学反应中的能量转化及其应用。例如，教学中通过物质燃烧在生产、生活中的应用，生活中使用的暖贴，金属单质化学性质与有关实验现象等，让学生体会到化学反应伴随能量变化，常常表现为热量的放出或吸收，并引导学生从断键与成键角度分析、理解化学变化中能量变化的原因；通过铜-锌原电池的实验探究，引导学生认识化学能转化为电能的装置与原理。

本章教学要把握教材编写的思路，重视各栏目的作用。例如，“实验探究”中设计了物质性质、物质间的转化、物质的制备等不同内容的实验，教学中注意把握每个实验不同的探究目的与要求。教学中还应充分利用教材中的情境素材，突出化学反应与新科技、生活与生产、环境之间的紧密联系；利用教材中的例题与习题，帮助学生巩固知识，引导学生灵活运用所学知识解决问题。

在“项目学习活动 如何测定菠菜中铁元素的含量”的教学中，需要注意：①建立与本章中铁盐性质的衔接，通过设计问题，帮助学生把本章所学的相关知识与实际问题的分析联系起来，例如，菠菜中含有的铁元素是+2价还是+3价？若含有的铁元素为+2价，为什么长期暴露在空气中 $\text{Fe}^{2+}$ 不会被氧化呢？②实验中，对菠菜预处理有较高的要求，建议在实验的安排中要设计梯度，从菠菜中铁元素价态的定性检测到分光光度法的仪器定量分析，将难度分解，使教学内容螺旋式上升，也有助于各个水平层次的学生在这个项目学习活动中收获。

## 二、课时建议

5.1 金属的性质	2课时
5.2 重要的金属化合物	2课时
5.3 化学变化中的能量变化	2课时
学生必做实验 氢氧化铁和氢氧化亚铁的制备、 $\text{Fe}^{2+}$ 和 $\text{Fe}^{3+}$ 性质的探究	0.5课时
铜-锌原电池	0.5课时

## 5.1 金属的性质

### ▶ 教学目标

1. 知道钠、铁等金属的主要性质，通过实验与原子结构特点解释金属的还原性，运用化学符号表征金属的主要化学变化，进一步深化对“结构决定性质”观念的认识。
2. 能归纳金属的通性，认识从不同视角归纳金属通性的作用与意义。
3. 了解金属冶炼的原理，结合真实情境中的应用实例，感悟金属在促进社会文明、自然资源综合利用中的重要作用。

### ▶ 教材解析

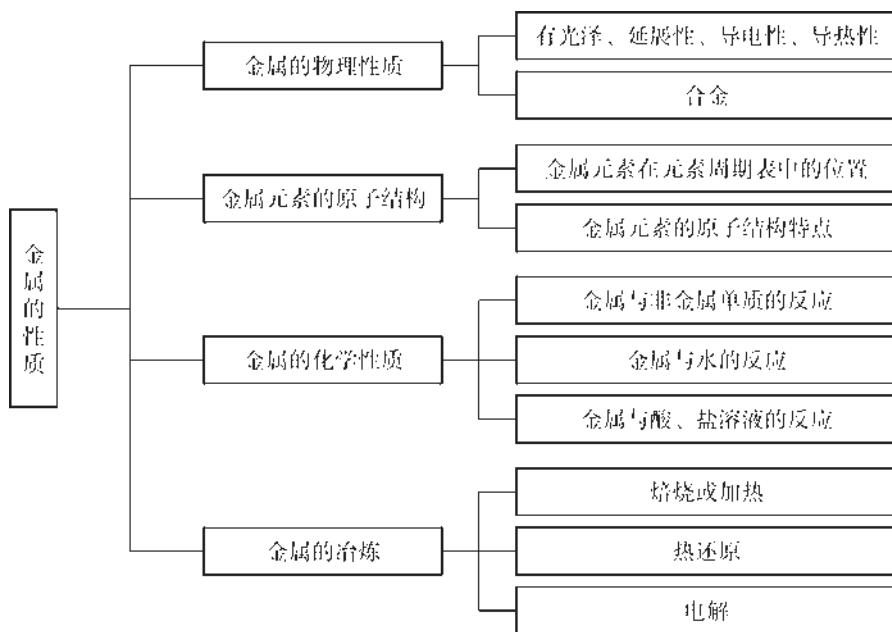
#### 一、教材设计思路

钠是典型的主族元素，铁是副族元素，学习这些典型的元素化合物知识，可以为已经学过的理论知识补充感性认识材料，使学生学会运用已学习的理论知识指导元素化合物的学习，从而对理论知识有进一步的理解和应用。教材设计从元素类别层面呈现金属元素的化学性质，整合了性质和结构的相互关系、氧化还原反应理论的应用等知识，改变了将各种元素及其化合物的组成、结构、性质和用途逐一描述的编写方式，从而让学生实现学习的整合与认知结构的建构。

教材不是采用基于具体的金属（钠、铁等）单质的化学性质，归纳得出金属的化学性质的方式来编写，而是通过分析金属元素的原子结构特点来联系金属的化学性质，然后指导学生学习具体的金属钠、铁等单质的化学性质，同时结合氧化还原反应分析反应的特点，归纳得出金属的还原性。对于钠、铁等单质性质的内容，教材采用实验探究、讨论归纳的方式来编写，其中，钠与水反应的实验探究在必修第一册教材中呈现过，教学中可直接应用前面学过的知识。

教材编写依据《课程标准》对必修课程的功能定位，综合考虑学科、生产、生活和自然界中元素及其化合物的存在、作用和影响，以及学生的发展水平等，在金属的化学性质后，对金属的冶炼方法进行常识性介绍，将知识与生产生活实际相结合，体现化学与生产、生活和科技的密切关系，展现化学学科的应用价值。

## 二、本节内容结构



### 三、教材分析

## 5.1 金属的性质

钠和铁都是自然界中储量比较丰富的元素，钠是一种性质非常活泼的金属，铁是人类冶炼和使用最多的金属。本节中我们将以钠、铁为代表，了解金属的主要性质，以及它们在生产、生活中的重要应用。

### 金属的物理性质



(1) 打开元素周期表，标出金属元素的位置区域，估算它们在已发现元素中所占的比例。

(2) 在日常生活中，你会用到哪些金属材料？这些材料分别有哪些理化性能？

金属表面一般都有光泽，黄金、白银、铂金等饰品就是利用了这一性质。金属具有良好的延展性，可将它们拉成细丝或锤击成薄片。金属既能导电，又有良好的导热性。银的导电性和导热性居金属首位，但由于价格等原因，一般的电线都是用铜制成的。除了这些共性以外，各种金属还具有不同的特性和用途。

合金是由两种或两种以上元素（其中至少一种是金属）组成的具有金属特性的物质。由于纯金属性能的局限性，实际中广泛应用的主要合金。青铜主要是铜合金，钢铁属于铁碳合金。

### 金属元素的原子结构



(1) 从原子结构的角度，分析碱金属等主族金属元素原子的核外电子排布与其化学性质的关联。

(2) 比较金属活动性顺序表中不同位置金属还原性的相对强弱，以及这些金属所对应正离子氧化性的相对强弱。

#### 学习聚焦

- ✓ 知道金属的通性
- ✓ 了解钠、铁及其重要化合物的主要性质
- ✓ 理解金属的还原性
- ✓ 了解金属冶炼的原理

#### 知识回放

- 金属活动性顺序
- 氧化还原反应
- 同周期和同主族元素性质的递变规律

#### 资料库

##### 金属之最

锂	密度最小的金属
铝	地壳中含量最高的金属元素
钙	人体中含量最多的金属元素
铬	硬度最大的金属
钨	熔点最高的金属
汞	熔点最低的金属

#### “想一想”：

(1) 链接第4章“原子结构与化学键”，体现了元素周期律（表）对学习金属知识的指导意义；让学生估算出金属元素的比例约为80%，使学生体会学习金属知识的价值和意义。

(2) 让学生回忆身边不同金属材料及其性能，感悟金属具有一定的通性。

建议启发学生了解：金属原子紧密堆积的排列结构使不同的金属具有许多通性。不需要继续深挖金属结构，仅为选择性必修课程“物质结构与性质”模块的学习奠定基础。

“资料库”：通过一些例子，激发学生兴趣，教师可适当拓宽，但不做学习要求。

3



1. 学生在初中学习过金属相关内容，对于金属及其性质有一定的认识，教师可引导学生在初中学习、日常生活中的知识积累、归纳的基础上展开进一步学习。
2. 可复习相关的元素周期律（表）内容，体会其对金属学习的指导意义。例如，通过复习IA族元素性质的递变，根据金属钠的化学性质，推测金属钾的化学性质。

金属元素的原子结构只要求对特点的认识，不宜拓展，但要与金属元素的化学性质的相似性与差异性进行联系，可引导学生根据金属元素的原子结构思考金属有哪些共同的化学性质，举例说明金属能发生哪些化学反应。

“书写表达”：唤醒学生的已有认知，让学生回忆有关反应的宏观现象、化学方程式，再用化学方程式进行表征。

“实验探究”：可以让学生依据钠的保存方法与原子结构特点，预测金属钠与氧气的反应。实验中要指导学生通过对比观察、分析推断金属钠的物理性质与化学性质。

金属元素的原子具有较为相似的电子结构，大多数金属元素原子的最外层电子数较少，原子半径较大，容易失去电子。主族金属元素原子在化学反应中失去最外层电子，呈现的最高正价等于原子的最外层电子数。副族金属元素原子的电子结构比较复杂，在化学反应中除能失去最外层的电子外，还能失去排布在内层上的电子，可显示出多种价态。

总之，由于金属元素原子的核外电子排布具有共性和个性，因此金属单质的化学性质既有相似的方面，又有差异的体现。

## 金属的化学性质

### 1. 金属与非金属单质的反应

我们知道许多金属与非金属单质在一定条件下能发生化合反应。同一种金属与不同种非金属单质反应时，可能得到不同价态的生成物。同一种金属与同种非金属单质反应时，如果反应条件不同，也可能得到不同价态的生成物。

### 书写表达

写出金属铁、铜分别与氯气和硫反应的化学方程式。

### 实验探究



### 不同条件下钠在空气中的反应



取一小块保存在煤油中的金属钠，用滤纸吸干表面的煤油后，用小刀切开一端的外皮，观察钠表面的光泽和颜色，放置一会儿后，再观察表面的变化（图5.1）。（金属钠使用时要小心，多余的钠要及时放回煤油中）

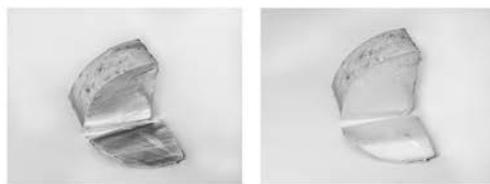


图5.1 金属钠易被空气中的氧气氧化



- 根据金属原子的结构特点，预测金属可能具有的化学性质，引导学生形成“结构决定性质”的观念。
- 通过金属钠与氧气反应的实验，运用对比、分类等方法，研究钠单质的物理性质、化学性质、保存方法；用化学方程式表征钠与氧气的反应，并从氧化还原反应的视角进行分析，归纳金属钠的性质。

如图 5.2 所示, 取绿豆大小的一块钠放在石英玻璃蒸发皿中, 用小火加热片刻, 待金属钠燃烧起来立即停止加热, 观察并记录现象。



图 5.2 钠在空气中燃烧

现象记录: \_\_\_\_\_。

实验结论: \_\_\_\_\_。

问题: 根据实验现象描述钠的物理性质。在常温或加热条件下, 钠与氧气反应得到的生成物相同吗?

钠暴露在干燥的空气中, 易与空气中的氧气反应, 生成白色的氧化钠, 失去金属光泽而变暗。常温下, 钠在空气中就会迅速地被氧化, 说明钠的化学性质活泼。



钠在空气中受热后, 先熔化成银色的小球, 然后剧烈燃烧, 发出黄色火焰, 生成一种淡黄色的过氧化钠( $\text{Na}_2\text{O}_2$ )固体。



钠具有很强的还原性, 除了与氧气反应之外, 还能与氯气、硫等非金属单质发生反应。

铁的化学性质也比较活泼, 铁原子在化学反应中容易失去最外层的 2 个电子, 变成  $\text{Fe}^{2+}$ ; 若遇较强的氧化剂, 铁原子能失去 3 个电子, 变成  $\text{Fe}^{3+}$ 。因此, 铁具有还原性, 常见的价态为 +2、+3 价。

常温下, 铁在干燥的空气中不易与氧气、氯气、硫等非金属单质发生反应。在潮湿的空气中, 铁易被氧化生成铁锈(主要成分是  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ )。高温时, 铁与氧气、氯气、硫等非金属单质均能发生剧烈的反应。

### 资料库

钠

密度:  $0.968 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$

(293 K)

熔点:  $97.8^\circ\text{C}$

沸点:  $881.4^\circ\text{C}$

对于钠与氧气在不同条件下反应得到的生成物是否相同的讨论, 只要求用反应条件、反应现象、生成物的颜色不同等事实来判断, 不宜拓展。

“资料库”: 可引导学生用密度说明钠保存在煤油里的原因; 用密度与熔点解释钠能浮在水面上, 与水反应熔成小球的现象。

可介绍活泼金属在空气中易与氧气反应, 生成一层氧化膜。有的氧化膜疏松, 不能保护内层的金属; 有的氧化膜致密, 可以保护内层的金属。

5



- 在“金属钠”的教学中, 可采用边实验, 边观察, 边讨论的方法, 通过实验获取事实, 引导学生结合原子结构思考、讨论、归纳出钠的性质。在“金属铁”的教学中, 可以让学生回忆前面学过的知识, 联系生产、生活实际进行归纳。
- 教学中可复习学过的金属单质与非金属的反应, 并结合氧化还原反应分析反应特点, 提升学生对金属单质化学性质的认识。

引导学生分析大多数金属都能与氧气、硫、氯气等非金属单质反应，但反应的难易和剧烈程度不同的原因。

常温下，铁在干燥的空气中不易生锈，在潮湿的空气中容易生锈，分析常温下铁生锈的条件。

大多数金属跟钠、铁相似，能与氧气、氯气等非金属单质反应，但由于金属的还原性强弱不同，因此反应的难易和剧烈程度也是不同的。

## 2. 金属与水的反应

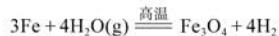
许多金属在一定条件下都能与水发生反应。



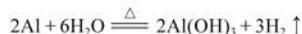
写出金属钠与水反应的化学方程式，描述该反应的实验现象。

钠能在冷水中剧烈反应，可用作强除水剂。当钠着火时，不能用水或泡沫灭火剂扑灭，应选用干沙、石粉、专用灭火剂来扑灭。在实验室中，少量金属钠一般保存在煤油或石蜡油中，以隔绝水和空气。

日常生活中人们常用铁或铜制的水壶来盛水和烧水，说明这些金属与冷水或热水不发生反应。但在更高温度下，铁能与水蒸气发生反应，生成四氧化三铁和氢气。



金属铝很活泼，但在空气中易发生“钝化”，即在铝的表面生成一层致密的氧化膜，这层氧化膜起着保护内部金属的作用。这也正是化学性质活泼的铝能在空气中稳定存在，以及能用于制作炊具的原因。除去氧化膜后，铝能与热水反应生成氢氧化铝和氢气。



## 3. 金属与酸、盐溶液的反应

比较活泼的金属如锌、铁，它们能与稀硫酸或盐酸等发生置换反应放出氢气。较活泼的金属也可以把相对不活泼的金属从其盐溶液中置换出来。

较不活泼的金属如铜、银，它们与稀硫酸或盐酸等不发生反应，但能与浓硫酸、硝酸等具有强氧化性的酸发生反应，生成二氧化硫、氮氧化物等。铁、铝等金属在室温下遇浓硫酸、浓硝酸会发生钝化。



1. 引导学生运用已有的钠与水反应的知识对铝与水反应的产物进行预测，再利用实验事实证实，最终形成结论，体验探究过程。
2. 引导学生在回忆金属活动性顺序、不同金属与水的反应、氧化还原反应原理等知识的基础上，形成对金属与水反应的认知。

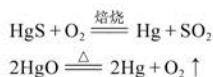


实验室里用金属置换出某些盐溶液中的金属时，为何一般不会选择像钠、钾这样的活泼金属？

## 金属的冶炼

在自然界中，只有少数化学性质稳定的金属能以游离态存在，如金、铂以及少量的银、铜。大多数金属以化合态存在于矿石中，金属的冶炼就是将化合态的金属元素还原为金属单质的过程。在很多矿物中，金属元素一般以离子的形式存在，由于金属离子的氧化性强弱存在差异，使它们被还原为单质的难易程度不同，因此，金属的冶炼方法也就不同。

不活泼金属的硫化物或氧化物在焙烧或加热时就可分解，生成金属单质。例如，焙烧辰砂（HgS）或加热氧化汞都可以制取汞。



较活泼的金属可以采用热还原法来制得，常见的还原剂有氢气、焦炭、一氧化碳、活泼金属等。铁是现代生产和生活中使用量最大的金属，炼铁的过程就是加入还原剂将矿石中的铁元素还原成铁单质。

纯净的铁有银白色的金属光泽。铁元素在地壳中以化合态形式存在，含量约占4.75%，仅次于氧、硅、铝（图5.3）。用于炼铁的矿石主要有赤铁矿（主要成分是 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ）、磁铁矿（主要成分是 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ）和菱铁矿（主要成分是 $\text{FeCO}_3$ ）等（图5.4）。

炼铁最主要的化学反应是（以赤铁矿石为例）：



“想一想”：教师可在学生思考讨论的基础上，演示金属钠与硫酸铜溶液反应的实验（此反应比较剧烈，注意安全），进行证实。

金属的冶炼主要让学生从金属原子结构特点、金属的化学性质，以及氧化还原反应原理等方面理解冶炼方法的选择，对具体物质的冶炼过程不宜展开。

资料库	
铁	
密度：	7.86 g · cm <sup>-3</sup>
熔点：	1 535 ℃
沸点：	2 861 ℃

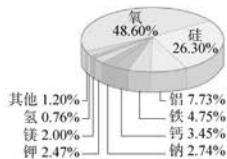


图5.3 地壳中各种元素的含量

“资料库”：结合地壳中金属元素的含量，以及金属冶炼与使用的发展史，讨论为什么铝在地壳中含量比铁高，但人们对铝的冶炼与使用却较晚。

7



1. 引导学生运用分类、比较和归纳的方法，整理金属分别与非金属单质、水、酸、盐溶液的反应情况，并运用氧化还原反应、离子反应知识进行表征；结合金属元素的原子结构特点，归纳金属的还原性。
2. 引导学生从物质类别和铁元素价态的角度对含有铁元素的物质进行整理和分类，同时结合氧化还原反应原理，认识铁与不同氧化剂（氧化性强弱不同）反应的产物不同。
3. 在“金属的冶炼”的教学中，可利用数字资源，拓展课堂教学时空，联系生产、生活实际。

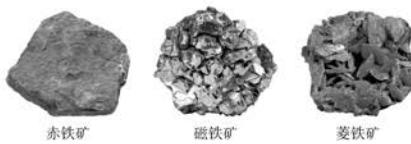


图 5.4 不同的铁矿石

“资料库”：从元素组成上对合金进行分类，引导学生认识不同类型金属材料组成、性能与应用的联系，强化“性能决定应用”的观念。

铁合金是重要的金属材料。鉴于其在国民经济中的重要地位和日常生活中的广泛应用，教学中可联系生产、生活实际，反映化学与生产、生活的密切关系。

某些不能自发进行的氧化还原反应，通过电解可以实现，理论上金属都能通过电解法制取，教学中可引导学生思考：为什么这个方法主要用于极活泼金属的冶炼？而且为什么是电解金属的熔融态化合物，不是金属的盐溶液？

### 资料库

表 5.1 生铁和钢

铁合金	生铁	钢
含碳量	2% ~ 4.3%	0.03% ~ 2%
机械性能	硬而脆	硬而韧，有弹性
机械加工	可铸 不可锻	可铸 可锻



8

在实际生产中，人们把铁矿石和焦炭等原料混合，在高温下炼制，这样炼出来的铁碳合金，称为生铁。为了提高性能和扩大用途，再除去生铁里的一部分碳和其他杂质，便炼制成了钢，也称为碳钢。在普通碳钢里添加适量的一种或多种合金元素，使钢具有一些特殊的性能，这种钢称为合金钢。

钢铁材料的品种繁多，广泛应用于建筑、家电、机械、造船、汽车、铁道、能源等领域（图 5.5），是许多基础建设的物质保障，也为国家持续快速的经济发展做出了重大贡献。

### 语言表达

指出下列金属冶炼反应中的还原剂。



活泼金属离子的氧化性很弱，用还原剂很难将它们从化合态还原成单质，一般采用电解法制得。金属钠就是用电解熔融的氯化钠来制取的。



金属铝是用电解熔融氧化铝的方法制得的，但氧化铝熔点高，很难直接熔融电解。工业上用冰晶石（ $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ）作为助熔剂，使氧化铝熔融的温度大大降低，然后通直流电制取。



### 贴士

- 通过我国金属矿产资源的分布及生产应用的图表或视频，引导学生从金属在自然界中的存在，实验室、生产、生活的应用等多个角度认识金属，建立自然界金属矿物与金属及其应用之间的联系。
- 引导学生归纳总结：不同金属活动性不同，金属离子得到电子还原成金属原子的能力也不同，因此采用的冶炼方法不同；金属的冶炼方法与其化学性质、矿石的类型和经济效益等有关。还可以讨论废旧金属回收利用的重要意义。

## 拓展视野

## 稀土金属

稀土金属是元素周期表中第3族的钪、钇和15种镧系元素的总称。稀土金属质地比较软，具有优良的光、电、磁等物理特性，它们的化学性质极为相似，都是很活泼的金属，常见化合价为+3。这些稀土金属常被作为神奇的“调料”使用，只需极少量，就能显著改变材料的性能。

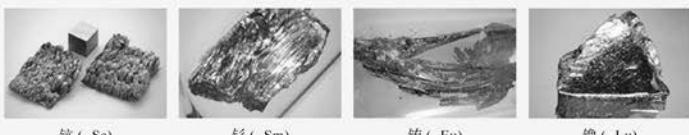


图 5.6 稀土元素钪、钐、铕和镥

例如，在铝中加入千分之几的钪，就能明显提升铝合金在高温强度、结构稳定性、抗腐蚀等方面的性能。钪也是铁的有效改良剂，添加少量钪便可显著提高铸铁的强度和硬度。因钪具有较高熔点，且密度又跟铝接近，因此又可被应用于钪钛合金和钪镁合金等，这种高熔点轻质合金材料通常用在航天飞机和火箭上。

当然，钪只是稀土金属中的一员。稀土元素还可用于生产荧光、永磁、超导、储氢、磁光存储及光导纤维等材料中。这些稀土材料极具价值且有广泛的用途，在通信、电子计算机、航空航天、医药卫生、新能源等尖端科技领域都有应用。

中国化学家徐光宪（1920—2015）所创立的“串级萃取理论”在稀土工业得到了普遍应用，引导了我国稀土分离科技和产业的全面革新，为稀土功能材料和器件的发展提供了物质保证，使我国实现了从稀土资源大国到生产和应用大国的飞跃，极大地提升了我国稀土产业的国际竞争力。



图 5.7 国家最高科学技术奖获得者徐光宪

“拓展视野”：稀土金属是宝贵的战略资源。可以结合图片、视频，介绍我国在稀土金属生产与应用方面的成就和杰出科学家，如稀土永磁、发光、储氢、催化等功能材料在先进装备制造业、新能源等高新技术产业的应用，激发学生的民族自豪感。



### 贴士

结合“拓展视野”内容，以“我国稀土金属资源的合理开发与利用”为主题，联系科技与生产发展、环境保护、资源开发等有关的社会热点问题，开展科技小论文撰写与交流活动，促进学生理解稀土金属在社会生产发展中的重要地位，培养学生的社会责任感。

“链接职业”：可以与金属的冶炼、“拓展视野”联系起来，通过视频资料介绍不同职业的特点与工作内容。

### 链接职业

#### 特种钢炼制

特种钢的制造在军事、航空航天工业上起着关键性的作用。特种钢就是在碳素钢里适量地加入一种或几种其他元素，例如稀土元素，从而使钢具有各种特殊性能。从事特种钢炼制的科研人员，是国家急需的人才，主要的工作是研究元素添加对特种钢性质的影响和特种钢制备的化学工艺等。



图 5.8 炼钢



### 学习指南

#### 例题导引

**问题:** ● 某种合金材料耐腐蚀、强度大。它和铁的部分物理常数如下表所示。

物质	熔点 ℃	密度 (g·cm <sup>-3</sup> )	硬度	导电性
合金	3 200	3.20	7.5	3.5
铁	1 535	7.86	4.5	17

注：硬度以金刚石的硬度 10 为标准，1 表示很软，10 表示很硬。导电性以银的导电性 100 为标准。

请根据表中数据对该合金材料的性能和用途做出基本评价。

**分析:** ● 物质的用途应该与其相应的理化性质或性能相匹配。从已知条件和表中信息可知，该合金材料具有高熔点、低密度、高硬度、耐腐蚀等优良性能。拥有这些性能的合金材料，适用于航天器的外壳、炉具、门窗框等。不足之处就是其导电性较差，不适合用作导线等。

10



教材重视职业生涯规划教育，可通过“链接职业”适当介绍一些与金属生产、应用等有关的新职业，让学生理解新职业的工作内容、特点、过程及对社会的贡献。

## 5.2 重要的金属化合物

### ▶ 教学目标

1. 能列举、描述、辨识钠和铁的氧化物、氢氧化物、盐等化合物，以及钠的过氧化物的物理性质和化学性质，能用化学方程式、离子方程式表征这些物质的主要化学性质。
2. 从物质类别、元素价态的角度，认识钠和铁重要化合物的性质，完善研究物质性质的一般思路和方法。
3. 在预测并探究钠和铁的重要化合物性质和变化等过程中，感受实验是科学探究的主要途径。
4. 将钠和铁的重要化合物性质的知识运用于解决生产、生活中简单的化学问题，强化“性质决定应用”的观念，感受化学的魅力。

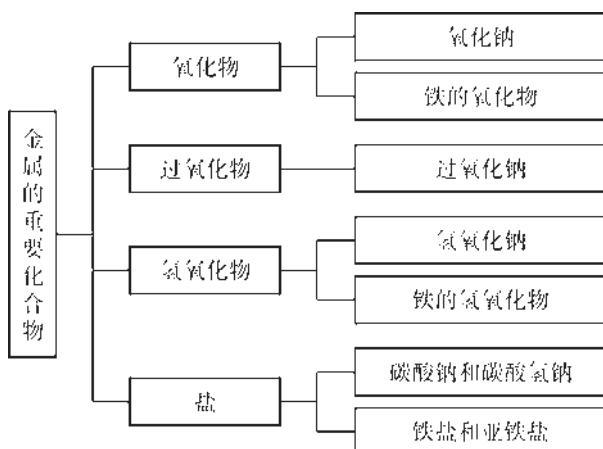
### ▶ 教材解析

#### 一、教材设计思路

本节包括钠和铁的氧化物、氢氧化物、盐，以及钠的过氧化物等。学生已经对某些钠和铁的化合物有所了解，初步掌握了运用“物质类别”“元素价态”研究元素及其化合物性质的一般思路和方法。教材主要引导学生依据复分解反应和氧化还原反应原理，经历预测钠和铁重要化合物的性质，再通过实验探究寻求证据、得出结论，体会理论知识在探究物质性质中的具体应用。

本节包含与科学、技术、社会等密切相关的內容，教材利用“化学史话”中的素材，使学生感受到科学家的创新精神和爱国情怀，也帮助学生认识钠、铁及其化合物的转化具有现实意义和重要价值。

#### 二、本节内容结构



### 三、教材分析

## 5.2 重要的金属化合物

#### 学习聚焦

✓ 理解氧化钠与过氧化钠、碳酸钠与碳酸氢钠的化学性质

✓ 知道铁的氧化物的性质

✓ 理解铁的氢氧化物的制备

✓ 学会  $\text{Fe}^{3+}$  的检验

✓ 了解  $\text{Fe}^{3+}$  与  $\text{Fe}^{2+}$  的相互转化

#### 知识回放

● 钠与氧气反应

● 盐酸除铁锈

● 离子反应



图 5.9 氧化钠

金属化合物的种类很多，主要有金属氧化物、氢氧化物和盐等。我们已经接触了一些含钠和含铁的化合物，如氢氧化钠、氯化钠、氧化铁等，不同的金属化合物拥有各自的性质和用途。本节我们将进一步学习钠、铁等的一些重要化合物及其应用。

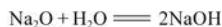
## 氧化物

自然界中许多矿物的主要成分是以金属氧化物的形式存在的，如赤铁矿（主要成分是  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ）、铝土矿（主要成分是  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ）等。

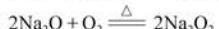
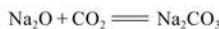
多数金属氧化物不溶于水，只有少数金属氧化物能与水反应，生成可溶或微溶的碱。

### 1. 氧化钠

氧化钠（图 5.9）是碱性氧化物，常温下，与水反应后生成氢氧化物，并放出热量。



氧化钠与二氧化碳反应，生成碳酸钠。氧化钠与酸反应，生成相应的钠盐和水。氧化钠在空气中加热会跟氧气反应生成过氧化钠。



### 2. 铁的氧化物

铁的氧化物主要有氧化亚铁、氧化铁、四氧化三铁等，它们既不溶于水，也不与水发生反应。氧化亚铁是黑色粉末，在空气中受热后会被氧化为氧化铁或四氧化三铁。氧化铁是一种红棕色粉末，俗称铁红，可作油漆和涂料的颜料（图 5.10）。四氧化三铁是一种复杂的氧化物，它是具有磁性的黑色晶体，俗称磁性氧化铁。

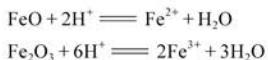
氧化亚铁和氧化铁都是碱性氧化物，都能与酸反应，生成亚铁盐和铁盐。离子方程式为：



图 5.10 氧化铁可作建筑外墙的涂料



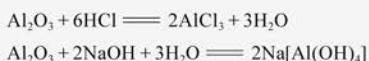
- 建议开始本节内容教学时，指导学生基于元素的价态和物质的所属类别，完整有序地写出含有钠、铁元素的化合物的化学式。
- 学生在初中学习过氧化钙的性质，建议类比氧化钙的性质，从可溶于水的碱性氧化物的角度学习氧化钠。
- 通过第 1 节的学习，学生已经知道过氧化钠，教学中可对比氧化钠和过氧化钠中氧元素的化合价，以及钠生成氧化钠和过氧化钠的条件，讨论分析氧化钠在空气中受热时与氧气反应的情况。



## 拓展视野

## 氧化铝

氧化铝是一种白色且熔点较高的氧化物，常用于耐火材料的制造。新制的氧化铝除了能与酸反应外，还能与氢氧化钠溶液反应，生成四羟基合铝酸钠。因此，氧化铝是一种既能与强酸反应又能与强碱反应的两性氧化物。



## 过氧化物

过氧化钠( $\text{Na}_2\text{O}_2$ )是一种重要的过氧化物，具有强氧化性，易潮解，有腐蚀性，应密封保存。

## 实验探究

## 过氧化钠性质的探究

1. 如图5.11所示，取一小匙过氧化钠置于干燥的试管中，向试管里滴加3 mL水，用带火星的木条，检验生成的气体，用手触感试管底部的温度，然后滴入几滴酚酞试液，观察并记录现象。

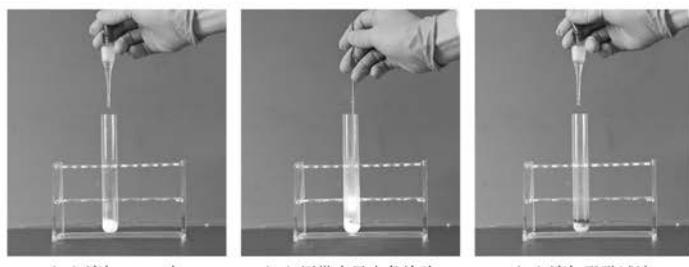


图5.11 过氧化钠与水反应

根据碱性氧化物的性质，可以得出氧化亚铁、氧化铁与盐酸或稀硫酸的反应，并书写相应的离子方程式。但是，不宜扩展到与其他酸的反应，如硝酸或氢碘酸等。

“拓展视野”：氧化铝具有两性，可建议学有余力的学生，与第4章第1节中氢氧化铝的性质进行对比。

“实验探究”：根据过氧化钠中氧元素的化合价，利用氧化还原反应原理，先预测过氧化钠的性质，再设计实验加以验证。



1. 氧化钠和过氧化钠组成相似，都由钠元素和氧元素组成，但两者物理性质、化学性质差异很大。建议采用对比的策略，从物质类别、元素化合价的角度理解性质的差异，深化“结构决定性质、性质决定应用”的化学学科观念。
2. 过氧化钠与水反应后向溶液中滴入酚酞，溶液立即变深红色，随后颜色逐渐变浅甚至褪色。可对这一现象进行实验探究。
3. 对于过氧化钠与水的反应，也可设计成“滴水生火”的趣味实验。

2. 如图 5.12 所示，在长玻璃管中加入少量过氧化钠固体，用气袋（或气囊）向玻璃管内缓缓通入二氧化碳。将反应后的气体通入澄清石灰水中，用手小心触感玻璃管的温度，并用带火星的木条在试管液面上方检验产生的气体。



图 5.12 过氧化钠与二氧化碳反应

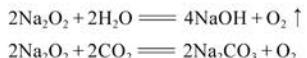
编号	现象记录	实验结论	化学方程式
1			
2			

问题：过氧化钠与二氧化碳反应后会生成哪些生成物？请设计实验探究该反应的生成物。

可先从元素守恒的角度预测产物，再设计实验探究。

可将过氧化钠的漂白原理与过氧化氢、次氯酸、二氧化硫等进行比较。

过氧化钠与水反应，生成氢氧化钠和氧气。过氧化钠还能与二氧化碳反应，生成碳酸钠和氧气。



根据上述性质，可将过氧化钠用作漂白剂、消毒剂、氧化剂，以及潜水员或潜艇的供氧剂等。

#### 资料库

##### 氢氧化钠

密度：2.130 g · cm<sup>-3</sup>

熔点：323 ℃

沸点：1 388 ℃

对皮肤、纸张、丝绵织物和玻璃等有腐蚀性。

#### 氢氧化物

##### 1. 氢氧化钠

氢氧化钠是一种白色固体，容易潮解，易溶于水并产生大量的热，水溶液呈强碱性。氢氧化钠能与氯气等一些非金属单质反应，那么它能与金属反应吗？



- 对于过氧化钠与二氧化碳的反应，也可设计成“吹气生火”趣味实验或定量实验。
- 氢氧化钠是最重要、学生最熟悉的强碱，具有碱的通性。可回顾氢氧化钠溶液与氯气反应的原因，为理解氢氧化钠溶液与铝反应做好铺垫。

## 实验探究



## 氢氧化钠与铝的反应



如图 5.13 所示，取一段铝条，用砂纸去除铝条表面的氧化膜后放入试管，加入 3 mL 6 mol · L<sup>-1</sup> NaOH 溶液，观察现象。用带导管的塞子塞住试管，将产生的气体导入盛有少量洗涤剂的玻璃蒸发皿中，待蒸发皿中产生较多气泡后，点燃气泡。



图 5.13 氢氧化钠与铝反应

现象记录：\_\_\_\_\_。

实验结论：\_\_\_\_\_。

问题：上述实验中氢氧化钠和铝分别表现出哪些化学性质？

“实验探究”：可链接第 4 章第 1 节中铝、氢氧化铝的性质，展开氢氧化钠溶液与铝发生反应内容的教学。对氢氧化钠溶液与氢氧化铝反应的化学方程式不做学习要求。

## 2. 铁的氢氧化物

在常见的金属氢氧化物中，除了 NaOH、KOH、Ba(OH)<sub>2</sub> 等易溶于水，Ca(OH)<sub>2</sub> 微溶于水之外，Fe(OH)<sub>3</sub>、Al(OH)<sub>3</sub> 等多数的金属氢氧化物都不溶于水，但可溶于酸。常见的铁的氢氧化物有氢氧化铁和氢氧化亚铁。

## 实验探究



## 氢氧化铁和氢氧化亚铁的制备



## 1. 氢氧化铁的制备

取一支试管加入 2 mL FeCl<sub>3</sub> 溶液，再用胶头滴管向其中加入 NaOH 溶液，观察并记录实验现象。

## 2. 氢氧化亚铁的制备

Fe(OH)<sub>2</sub> 是一种白色物质，易被氧气等氧化剂氧化，甚至溶解在溶液中的少量氧气也可氧化 Fe(OH)<sub>2</sub>。请设计一个实验方案，从溶液配制直至生成 Fe(OH)<sub>2</sub> 沉淀，整个过程尽量隔绝氧气。在得到白色絮状沉淀后，进一步观察 Fe(OH)<sub>2</sub> 的氧化过程。你的实验方案是：

“实验探究”：根据复分解反应的原理，设计氢氧化亚铁、氢氧化铁的制备方案；由“反常的”实验现象引发认知冲突，展开进一步的讨论与实验。



- 对于氢氧化钠溶液与铝的反应，建议以氢氧化钠粉末和铝粉为主要成分的管道疏通剂的工作原理探究为情境，通过问题解决，加强学生对氢氧化钠溶液与铝粉反应原理的理解、提升利用资料的能力，使学生进一步认识化学对生活的意义和价值。
- 建议对制备氢氧化亚铁中的“异常”现象和已有结论进行反思，提出质疑和新的实验设想，强化从“物质类别”和“元素价态”的角度对氢氧化亚铁性质的认识，发散思维，提升科学探究的灵活性和严谨性。

通过引导学生自主设计制备氢氧化亚铁的方案并完成实验，改变在实验中缺少思考的现状，强调高阶思维过程。

## 氢氧化亚铁的制备

实验目的：

实验原理：

实验用品：

实验步骤：

数据处理与实验结果：

问题与讨论：

编号	现象记录	化学方程式或离子方程式
1		
2		

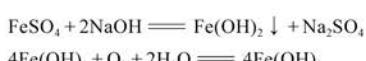


图 5.14 氢氧化铁沉淀

铁盐溶液与碱溶液反应得到的氢氧化铁是一种不溶于水的红褐色沉淀（图 5.14）。氢氧化铁可用来制药、制颜料等。加热时，氢氧化铁分解为氧化铁和水。



$\text{FeSO}_4$  与  $\text{NaOH}$  反应，生成的白色絮状沉淀暴露在空气中会迅速变为灰绿色，最后变成红褐色。因为不溶于水的白色  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  被空气中的  $\text{O}_2$  氧化为红褐色的  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 。



## 书写表达

氢氧化铁和氢氧化亚铁都是难溶的氢氧化物，请写出它们分别与盐酸反应的离子方程式。



- 对比氢氧化铁分解，建议设问：在空气中加热氢氧化亚铁是否得到氧化亚铁？
- 对于  $4\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{Fe}(\text{OH})_3$  反应，建议用单线桥表示出电子转移的数目和方向，加深对 +2 价铁元素还原性的理解，为学习  $\text{Fe}^{2+}$  的还原性做好铺垫。

## 盐

### 1. 碳酸钠和碳酸氢钠

碳酸钠和碳酸氢钠是常见的钠盐。

碳酸钠俗称苏打，又称纯碱，常温下为白色粉末，易溶于水，水溶液呈碱性。碳酸钠是一种重要的化工原料，广泛应用于石油、纺织、冶金、建筑等领域。

碳酸氢钠俗称小苏打，常温下为白色晶体，在水中的溶解度小于碳酸钠，水溶液呈弱碱性。在制药中用作制酸剂，在食品工业中用作酸度调节剂、膨松剂等。

**书写表达**

碳酸钠和碳酸氢钠都能与盐酸反应，请分别写出它们与盐酸反应的离子方程式。

### 实验探究

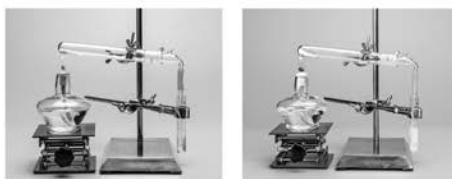


### 比较碳酸钠、碳酸氢钠的化学性质



#### 1. 热稳定性

在两支大试管内分别放入少量碳酸钠和碳酸氢钠固体，按图 5.15 所示搭建装置，将导管分别伸入两支盛有澄清石灰水的小试管中。在大试管底部加热，观察现象，并尝试得出结论。



(a) 加热碳酸钠固体 (b) 加热碳酸氢钠固体

图 5.15 加热碳酸钠和碳酸氢钠固体

#### 2. 与盐酸反应

如图 5.16(a) 所示，在一支 Y 形试管的一侧支管中放小磁子和 1 g 碳酸钠，另一支 Y 形试管的一侧支管中放小磁子和 1 g 碳酸氢钠，在两支 Y 形管的另一

经过前面的学习，学生已认识到，同类物质，性质上有共同之处，有的也有很大的差异，可引导学生对碳酸钠和碳酸氢钠性质的异同进行探究，以进一步深化对碳酸钠和碳酸氢钠性质的认识。

碳酸钠、碳酸氢钠溶液都呈碱性，同浓度碳酸钠溶液的碱性强于碳酸氢钠溶液。对于碱性强弱的原因不做学习要求，该内容是选择性必修课程的教学内容。



### 贴士

- 可设计实验比较碳酸钠和碳酸氢钠的溶解性、溶解过程的热效应，比较同浓度碳酸钠和碳酸氢钠溶液的碱性，以加深学生对碳酸钠和碳酸氢钠溶解性差异、溶液碱性差异的感性认识。
- 建议以“制作面包类食品时，常用碳酸氢钠和固体酸性材料做成的膨松剂，这种膨松剂在接触水时会产生气体，烘焙时会产生更多的气体，使面包更为松软”为情境，提出问题，探究碳酸氢钠和碳酸钠的热稳定性。

“实验探究”：引导学生观察图像，发现碳酸钠与盐酸反应气体压强没有明显变化，说明碳酸钠与盐酸混合没有产生气体，由此引发认知冲突，进而分析碳酸钠与盐酸反应是分步进行的。

侧支管中都加入 10 mL 0.1 mol · L<sup>-1</sup> 稀盐酸。在两支 Y 形试管上各连一个气体压强传感器，并与数据采集器和计算机连接并采集压强数据。将两支 Y 形管同时向一侧倾斜，使盐酸跟固体反应，同时将 Y 形管固定在磁力搅拌器上搅拌。观察试管中的现象和采集到的压强数据的变化，根据如图 5.16 ( b ) 所示的实验结果，得出结论。

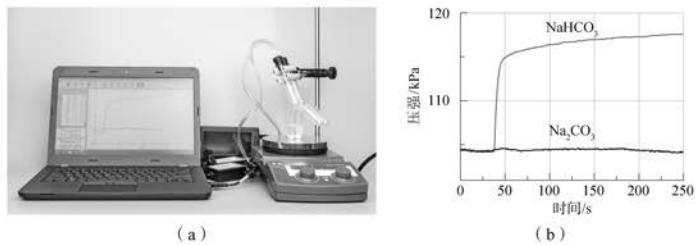
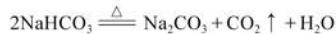


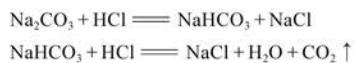
图 5.16 碳酸钠、碳酸氢钠分别与盐酸反应

物质	热稳定性	化学方程式	与盐酸反应	化学方程式
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>				
NaHCO <sub>3</sub>				

实验表明，碳酸氢钠比碳酸钠更易受热分解。碳酸氢钠在加热后迅速分解，产生二氧化碳气体。碳酸钠则很难受热分解。



碳酸钠与盐酸反应其实是分两步完成的。碳酸氢钠遇到稀盐酸放出二氧化碳，要比碳酸钠剧烈得多。



根据碳酸钠、碳酸氢钠的性质，思考可以利用哪些方法来鉴别碳酸钠和碳酸氢钠。

“想一想”：利用碳酸钠、碳酸氢钠性质的差异性对两者进行鉴别，可引出问题：如何实现两者的转化？

18



碳酸钠和碳酸氢钠的性质比较相似，但又有多种性质差异。相关性质实验的难度适宜，可要求学生设计多种合理的鉴别方案，并引导学生选择效果较好、操作便捷和可靠的方案。

碳酸钠粉末露置在潮湿的空气中会吸收水分，形成水合碳酸钠晶体 ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ )。像石碱 ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) 这种碳酸钠晶体在干燥空气里容易逐渐失去结晶水变成碳酸钠粉末。向碳酸钠溶液中通入二氧化碳可生成碳酸氢钠。

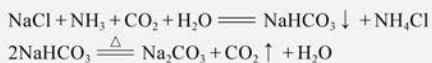
## 化学史话



## 享誉世界的侯氏制碱法

碳酸钠俗称纯碱，是一种重要的化工原料，人们曾经从盐湖等天然资源中获得纯碱，但这远远不能满足工业生产的需要。为此，化学家从 18 世纪起就开始探索采用工业方法生产纯碱。

1861 年比利时化学家索尔维用食盐、氨水、二氧化碳为原料，在室温下从溶液中析出碳酸氢钠，将它煅烧，即分解为碳酸钠。此法称为索尔维法，并沿用至今。



索尔维法生产出的纯碱产量高、质量好，多国采用索尔维法建立了大规模生产纯碱的工厂，并成立索尔维公会，对会员国以外的国家实施技术封锁。

第一次世界大战期间，欧亚交通瘫痪，由于我国所需的纯碱是从英国进口的，一时间，纯碱非常匮乏，一些以纯碱为原料的企业难以维系。1917 年，中国化工实业家范旭东（1883—1945）在天津塘沽创办了永利制碱公司，决心打破外国的垄断，生产出中国的纯碱。1921 年，侯德榜（1890—1974）受邀担任永利碱厂的技师长，他全身心投入到制碱工艺和设备的改进上。1926 年，永利碱厂生产的“红三角”牌纯碱在万国博览会上获得金质奖章，产品不仅畅销国内，而且打入国际市场。1932 年，侯德榜将多年研究心得写成《纯碱制造》一书，将保密达 70 年之久的索尔维法制碱技术公之于世。

1938 年初，侯德榜决定在四川建立新碱厂，但他面临的困难有：中国内陆缺盐，而索尔维法食盐的转化率较低，制碱成本高，废液、废渣污染环境和难以处理等。因此，必须对制碱工艺进行改革创新。他提出将索尔维法制碱和合成氨两大工业联合，同时生产纯碱和化肥氯化铵。为此，侯德榜带领技术人员进行了 500

可先从物质组成与元素守恒视角进行预测，碳酸钠溶液中通入二氧化碳的生成物。

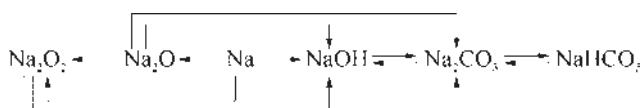


图 5.17 侯德榜

“化学史话”：指导学生阅读，体会侯德榜对制碱工业的重大贡献，渗透“科学态度与社会责任”的化学学科核心素养教育。



1. 在学生学习了碳酸钠和碳酸氢钠后，建议指导学生形成如下钠及其化合物的转化关系：



2. 对于制碱工业，建议教师指导学生查阅更多的资料，可引导学有余力的学生关注反应原理，了解实验室模拟制碱过程，并能从母液处理、副产物利用、产品纯度等角度评价索尔维制碱法和侯氏制碱法。

多次试验，分析了2 000多个样品，终于在1943年，侯德榜发明和创立了举世闻名的“联合制碱法”。

此法将氨与二氧化碳（合成氨工业的副产品）先后通入饱和食盐水中，析出碳酸氢钠，经过滤、洗涤、煅烧而得纯碱产品。在滤液中，通入氨、冷冻和添加食盐，使氯化铵析出，经过滤、洗涤、干燥而得氯化铵。此时，由食盐所饱和的滤液，可再通入氨和二氧化碳，循环利用。

联合制碱法大大地提高了食盐利用率，避免废液、废渣的产生，也节省了耗能的设备。由于侯德榜对制碱技术做出了重大贡献，人们把他所发明的联合制碱法称为“侯氏制碱法”。

引导学生分析通过溶液颜色来判断溶液中是否含有 $\text{Fe}^{3+}$ 的可靠性。



图5.18  $\text{Fe}^{3+}$ 遇KSCN溶液

显血红色

## 2. 铁盐和亚铁盐

氯化铁、硫酸铁等含有 $\text{Fe}^{3+}$ 的盐溶液遇到硫氰化钾（KSCN）溶液后变成血红色（图5.18），我们可利用这一性质来检验 $\text{Fe}^{3+}$ 的存在。

“实验探究”：用KSCN溶液可以检验 $\text{Fe}^{3+}$ 的存在，为后续铁盐、亚铁盐的转化做好铺垫。

可先预测铁盐、亚铁盐的性质，再设计和讨论方案，最后通过实验加以验证得出结论。

### 实验探究



### $\text{Fe}^{2+}$ 和 $\text{Fe}^{3+}$ 性质的探究



取一支试管加入2 mL  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{FeCl}_3$ 溶液，然后滴入2滴 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  KSCN溶液，观察并记录实验现象。向上述试管中加入过量铁粉，充分振荡后静置。再取上层清液，滴入几滴新制氯水，观察和记录实验过程中的现象。

现象记录：\_\_\_\_\_。

实验结论：\_\_\_\_\_。

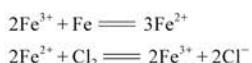
问题：将实验中的铁粉换成铜粉，氯水换成其他氧化剂，能否产生同样效果？通过探究你能总结 $\text{Fe}^{2+}$ 和 $\text{Fe}^{3+}$ 之间相互转化的规律吗？

$\text{Fe}^{3+}$ 具有氧化性，遇到金属铁、铜等时，会被还原为 $\text{Fe}^{2+}$ 。 $\text{Fe}^{2+}$ 既有氧化性，又有还原性，通常主要表现为还原性。



对于铁盐和亚铁盐，建议采取学生分组实验的形式，从物质类别和元素化合价两个角度，引导学生经历完整的物质性质实验探究的过程：预测性质→设计实验方案→在给定试剂的前提下（半开放性条件）开展实验→交流展示→总结提升。

$\text{Fe}^{2+}$  遇到强氧化性的物质如氧气、氯水、硝酸等时，会被氧化为  $\text{Fe}^{3+}$ 。因此， $\text{Fe}^{2+}$  和  $\text{Fe}^{3+}$  在一定条件下可以相互转化。



2

请分析以下操作过程的化学原理：① 实验室配制  $\text{FeSO}_4$  溶液时，常会添加铁粉；② 用  $\text{FeCl}_3$  溶液作蚀刻剂制作简易的印刷电路板（印刷电路板可由绝缘材料和铜箔复合而成，为板上电子元器件的连接提供支撑体）。

### 拓展视野

#### 金属和金属氧化物超导材料

1911 年荷兰物理学家昂内斯 (Heike Kamerlingh Onnes, 1853—1926) 首次发现当温度降到 4.3 K 附近时，汞的电阻突然消失。这就是某些材料在低温下的超导现象，能发生超导现象的物质叫做超导体，超导体由正常态转变为超导态的温度称为这种物质的转变温度。大多数金属元素及数以千计的合金、化合物均可在不同条件下显示出超导性，如钨的转变温度为 0.012 K，铝为 1.196 K 等。

没有电阻的金属具有巨大价值，但由于维持低温的液氮成本太大，从而限制了超导体的应用。科学家一直在探索高温超导体，高温超导体将超越常规材料而拥有广泛用途，如可制作磁体应用于电机、高能粒子加速器、磁悬浮运输，还可制作电缆用于大容量输电、通信等。

20 世纪 80 年代，掀起了以金属氧化物为对象，以寻找高温超导体为目标的研究热潮。1987 年中国科学院物理研究所赵忠贤研究团队和科学家朱经武分别发现  $\text{Y}-\text{Ba}-\text{Cu}-\text{O}$  体系中存在 100 K 和 92 K 的超导体。此后，更高温度的金属氧化物超导材料被陆续发现。

金属和金属氧化物超导现象的探索表明，种类繁多的金属及其化合物中拥有许多奇妙的性质，等待我们进一步去开拓和研究，使之为人类服务。

落实  $\text{Fe}^{3+}$  和  $\text{Fe}^{2+}$  相互转化的化学方程式和离子方程式的书写要求，但不宜要求过于复杂的氧化还原反应化学方程式和离子方程式的书写，如  $\text{Fe}^{2+}$  被硝酸、高锰酸钾的酸性溶液氧化等。

“想一想”：不宜过多解释配制硫酸亚铁溶液时加稀硫酸、配制氯化铁溶液时加盐酸的原因，该内容是选择性必修课程的教学内容。



1. 多增加一些与生产、生活有关的素材，如“补铁剂与维生素 C 搭配为什么更有效”，引导学生用学过知识加以解释，加深对物质性质的理解，激发学习兴趣，体现化学学科的价值。
2. 在“想一想”②的基础上，可根据学情进一步设计“从印刷电路板废液中回收铜，并再生氯化铁溶液”的实验探究主题，展开实验探究。
3. 在学生学习了铁的重要化合物后，可引导学生建立含有铁元素的物质间的相互转化关系，不仅要像钠及其化合物，从物质类别上建立关系，还要从化合价的升降、氧化还原反应的视角进行考虑，从“价-类”二维视角对铁及其重要化合物间的关系进行梳理。

## 5.3 化学变化中的能量变化

### ▶ 教学目标

1. 认识物质具有能量，能从化学键变化的微观视角理解化学反应中的能量变化，认识吸热反应与放热反应，多视角认识化学变化。
2. 从氧化还原反应的角度初步认识简单原电池的工作原理和构成要素，知道通过化学反应可以实现化学能向其他形式能量的转化，体会化学与生产、生活的密切联系。
3. 感悟提高燃料燃烧效率、研制新型电池、开发可循环利用、对环境友好的新能源对社会发展的重要现实意义，树立绿色发展理念。

### ▶ 教材解析

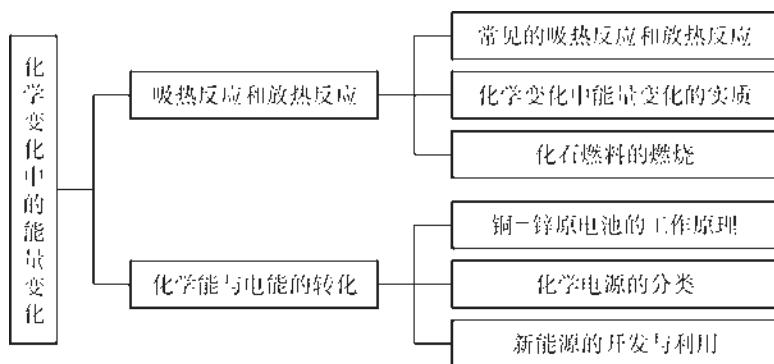
#### 一、教材设计思路

在已完成的必修课程中，学生学习了重要非金属、金属及其化合物的性质，了解了化学变化的本质特征是有新物质生成，积累了不少物质间的化学反应知识，教材就从这些已有知识和生活经验出发，引领学生从能量转化的视角认识化学变化，进一步关注化学与能源的密切联系。教材内容贴近学生的日常生活，教师在教学中可设计一些多样化的讨论、调查及制作活动，促进学生对新知识的内化与概念的建构。本节共分为两个部分。

第一部分，主要关注化学能向热能的转化，由铝热反应的演示实验引入，一方面回顾了金属间的置换反应，另一方面通过明显的实验现象，可让学生直观感受到化学变化中化学能向热能、光能的转化过程，激发学生学习的兴趣。然后，从物质能量变化与化学键变化两个视角剖析反应中能量转化的本质原因，认识吸热反应与放热反应，初步构建化学变化中能量变化的认知模型。

第二部分，由铜—锌原电池的实验引入，关注化学能向电能的转化，利用了“铜片上的气泡”和“灵敏电流计指针的偏转”等现象制造了一系列认知冲突，激发学生的探究热情。接着，运用氧化还原反应原理，从微观视角分析、解释电流的产生过程，促进学生对简单原电池工作原理的理解，构建原电池装置分析的基本思路和方法。然后，再介绍科学史中电池发明的过程与电池的常见类型，引导学生感悟严谨求实的科学家精神，认识化学电源对生产、生活的重要性以及科学技术的进步对人类文明发展的重要影响。

## 二、本节内容结构



### 三、教材分析

## 5.3

# 化学变化中的能量变化

#### 学习聚焦

- 知道吸热反应和放热反应
- 了解化学反应体系能量改变与化学键的断裂和形成有关
- 知道化学反应可以实现化学能与其他形式能量的转化
- 知道化学能可以转化为电能
- 认识原电池的组成和工作原理

#### 知识回放

- 燃烧反应
- 碳酸钙的分解反应
- 化学键
- 氧化还原反应

人类利用化学反应不仅可以创造新物质，还可以获取能量或实现不同形式能量之间的转化。用柴木可以生火取暖和照明，在这个过程中化学能转化成了热能、光能等。利用电池的化学反应可获取驱动汽车的电能，在该过程中实现了化学能与电能的相互转化。在本节中，我们将学习物质在发生化学变化的过程中能量是如何变化的。

## 吸热反应和放热反应

物质内部都储存着能量。化学能是在化学反应中表现出来的，与化学键等有关的能量。化学反应中的能量变化主要有热能、电能、光能等多种形式，一般人类利用较多的是反应产生的热能和电能。

### 实验探究

#### 铝热反应

用硬纸片折成漏斗状，侧面用订书钉钉上，底部剪一小孔，内放一用滤纸折成的漏斗，用少量水湿润使滤纸紧贴住硬纸片。将5 g 氧化铁粉末和2 g 铝粉混合均匀后，放在纸漏斗中。如图5.20所示，把纸漏斗架在铁圈上，将整套装置放置在一个盛砂的铁盘上。在固体混合物上平铺少量氯酸钾固体，混合物中间插上一根打磨过的镁条，用点火枪点燃镁条。



图5.20 铝热反应

现象记录：\_\_\_\_\_。

实验结论：\_\_\_\_\_。

问题：查阅相关资料了解铝热反应有何实际应用。

24



1. 引入时，可设计一些有趣的小实验，如荧光棒的发光、冷敷袋的制冷效果等，让学生感受化学变化中能量的变化与生活的密切联系，激发学生的学习兴趣。
2. 引发铝热反应需要的能量较高，实验中要注意氯酸钾固体与镁条的使用量。另外，可以通过装置的改进优化实验现象的观察，如红热铁水的生成现象。教师演示时要注意安全防护与环境通风，并提醒学生在观察实验现象时应尽量避免直视。

化学中把有热量放出的化学反应叫做放热反应，把吸收热量的化学反应叫做吸热反应。

铁与盐酸的反应是放热反应，氢氧化钠与盐酸的中和反应也是放热反应，氢气、木炭、甲烷等在氧气中的燃烧反应都是放热反应。碳酸钙的分解是吸热反应，灼热的炭与二氧化碳的反应也是吸热反应。



为什么有的化学反应会释放热量，而有的化学反应却需要吸收热量呢？这是由于物质在发生化学反应时，反应物中的化学键发生断裂，需要吸收能量；而生成物中新的化学键生成时，会放出能量。若化学键断裂需要吸收的总能量小于化学键生成时释放出的总能量，那么该化学反应就是放热反应，化学能转化为热能等释放出来。反之是吸热反应，热能会转化成化学能储存起来。

我们还可以从反应物总能量和生成物总能量的相对大小，来看化学反应是释放热量还是吸收热量。若反应物的总能量高于生成物的总能量，发生反应时会向周围环境释放能量；若反应物的总能量低于生成物的总能量，发生反应时需要从周围环境吸收能量（图 5.21）。

化石燃料在燃烧时为人类生产、生活提供了大量的热能。燃料燃烧效率的提高与热能的充分利用是提高燃料利用率的重要途径。化石燃料为不可再生资源，因此，世界各国科学家不断努力寻找化石燃料的可替代能源，开发新型的清洁能源。

## 化学能与电能的转化

化学能可以转化为热能，还可以转化为电能等形式的能量。我们把化学能转化为电能的装置，称为化学电源，习惯上叫做电池。电池大体上可分为原电池、蓄电池和燃料电池等。

在学习原电池的相关原理之前，让我们先来探究一个实验。

教师可帮助学生对中学阶段常见的放热反应、吸热反应进行梳理，但注意不能让学生误以为可以依据反应类型来判断化学反应的吸热、放热情况。

引导学生认识化学反应体系能量改变与化学键的断裂和形成有关。

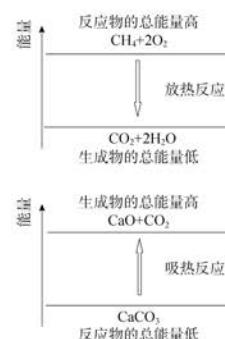


图 5.21 化学反应中的能量变化示意图

图 5.21 只是简单的示意图，教师不需要拓展，如标注物质的聚集状态。注意，表示能量高低的水平线不与纵轴相交。

教师应把握好教学范围和难度，这部分内容的学习是对吸热反应与放热反应形成定性认识，对键能、热化学方程式书写、反应热计算不做学习要求。



- 要充分利用实验事实，纠正学生对吸热反应与放热反应的认识偏差，如“需要加热才能发生的一定是吸热反应吗？”“分解反应一定是吸热反应吗？”“化合反应一定是放热反应吗？”等。
- 通过初中化学学习，学生已对化学燃料有了初步的认识。结合本节内容，可以设计一个对比化石燃料与新型清洁能源的课外活动，让学生认识能源结构转型的重要意义。

“实验探究”：

把握“气体为什么在铜片周围产生？”以及“电流是怎么产生的？”两个关键问题，层层剖析，帮助学生理解原电池工作原理。

铜—锌原电池为学生必做实验。要注意学生实验安全及规范操作的示范，如：实验时需佩戴好防酸手套，实验结束时应立即断开电路并将金属片从稀硫酸中取出，等等。

在对原理的分析中，要强调两种金属活泼性的差异；对于电子从锌片经导线流向铜片，只要求学生知道即可，不用具体解释原因。

### 实验探究



### 铜—锌原电池

- 把一块铜片和锌片并排插入盛有稀硫酸的容器里，观察实验现象。
- 把铜片、锌片分别用导线连接，并接入灵敏电流计（图 5.22），观察和记录实验现象。

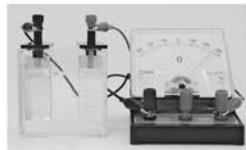


图 5.22 原电池实验装置

编号	现象记录	实验结论
1		
2		

问题：实验 2 中灵敏电流计的指针为何会发生偏转？

这是一个有趣的实验，我们知道铜与稀硫酸是不会发生化学反应的，但当用导线将铜片和锌片连接在一起，并同时插入稀硫酸中时，铜片的表面会出现气泡，接入导线中的灵敏电流计的指针发生了偏转。这说明在导线中有电流流过，该装置已构成一个原电池。

这是因为，浸在稀硫酸里的铜片和锌片用导线连接后，由于锌比铜活泼，容易失去电子，锌被氧化为  $Zn^{2+}$  而进入溶液，金属锌表面的电子通过导线流向铜片，溶液中的  $H^+$  从铜片上获得电子，被还原为氢原子，进而结合成氢分子从铜片上放出。电子的定向流动产生了电流，使电流计的指针发生了偏转。这一过程的总反应可表示为：



- 建议采用动画的方式，模拟装置（图 5.22）中电子得失与转移的历程，从微观视角揭示原电池的工作原理。
- 可将铜—锌原电池的实验进行微型化改进，如：改用滤纸条和金属丝，简化操作减少试剂用量；也可进行数字化改进，采用微电流传感器和温度传感器等，通过实验数据分析，客观评价原电池能量转化的效率，并以此设置进一步探索的方向，在课外继续开展研究性学习活动。
- 在铜—锌原电池实验中，学生可能会产生这样的疑惑“物理学中不允许将电流计与电源两极直接相连，会有短路现象，为什么铜—锌原电池的两极却可直接连接灵敏电流计？”这是一个跨学科问题，可以引导学生通过查阅书籍、资料进行分析与解决。

在原电池中，电子流出的电极是负极，如上述原电池中的锌片，电极材料失去电子被氧化，发生氧化反应；电子流入的电极是正极，如铜片， $\text{H}^+$ 在电极上得到电子，发生还原反应。人们就是利用原电池的原理制作了多种电池。



2

分析原电池主要由哪几部分组成，每一部分在电池反应中各起什么作用？



### 电池的发明

1780年，意大利解剖学家伽伐尼（Luigi Galvani, 1737—1798）在进行青蛙解剖实验时，将已解剖的青蛙放在潮湿的铁盘中，当解剖刀无意中触及蛙腿上外露的神经时，蛙腿有抽搐的现象。伽伐尼重复进行这个实验，又观察到相同的现象。他认为这是动物体内存在着某种“动物电”。1791年，他发表了《关于电对肌肉运动的作用》的论文。

1800年，意大利物理学家伏打（Alessandro Volta, 1745—1827）受到伽伐尼实验的启发，他的注意点主要集中在金属的解剖刀和铁盘上，他认为这可能与电有关。通过反复试验，他在锌板和铜板之间隔以用盐酸或盐水浸过的硬纸、麻布等材料，并用导线连接两种金属板，发现有电流通过。于是，世界上第一个可提供持续、稳定的电流的实用化学电池——伏打电池诞生了。

伏打电池说明了电并不是从蛙的组织中产生的，蛙腿只不过相当于一个非常灵敏的电流计而已。为了纪念伏打在电学上的成就，人们以他的姓氏将电位、电位差和电动势的单位命名为伏特（V）。

原电池又称一次电池，是指放电之后不可再充电的化学电池。日常使用的锌锰干电池、锌银纽扣电池等都属于一次电池。

蓄电池又称二次电池，是指放电之后可再充电反复使用的化学电池。如作为机动车电源的铅酸蓄电池、广泛使用的锂离子电池（图5.23）等都属于二次电池。

燃料电池是将氢气、甲醇等燃料的化学能直接转化成

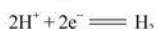
### 资料库

#### 铜-锌原电池的电极反应式

锌片为负极，发生氧化反应：



铜片为正极，发生还原反应：



“想一想”：学生只要初步知道原电池体系的基本要素包含电极反应、电极材料、离子导体和电子导体，无需展开。



图5.23 锂离子电池

可以采用实物、图片或视频，让学生领略各种电池的魅力，感悟化学电源对生产、生活的重要性。



1. 电池发明的过程向学生展现了伏打勇于质疑、严谨求实的科学精神。可以补充素材进一步说明伏打电池的发明对相关学科发展的推进作用，如化学家对金属性质的研究、物理学上电磁感应现象的发现，帮助学生认识科技的进步对人类文明发展的重大意义。
2. 电池作为实现化学能向电能转化的装置，种类丰富，这与其应用需求密切相关，不同的应用环境会对电池提出不同的特性要求，如种类、电压、容量、搁置寿命、成本、环境条件等等。对特定的工作场景而言，选择合适的电池其实也是一种合理化的权衡过程。
3. 可以设计一个制作伏打电堆的课外活动，查阅历史资料，将锌片、铜片、浸润食盐水的布片用层叠的方式模拟伏打电堆的结构，尝试点亮红色发光二极管。
4. 可以设计一个化学电源的小调查，采用以下两种主题：① 调查你家庭中正在使用的各种化学电源，指出它们包装上标注的电压数值和负极材料；② 生活中常见的碱性电池，用数字来定义型号，如最常用的有5号电池和7号电池，你还知道其他型号吗？查阅资料，整理碱性电池的型号，并指出它们的异同。

此处对其他化学电源、电解池仅做简单介绍，具体的工作原理是选择性必修课程的教学内容。

电能的化学电池。其燃料可以从外部供给，从而可长期不间断地工作，大大提高了燃料的利用率。例如，氢燃料电池、甲醇燃料电池等就是一些高效、环境友好的燃料电池。

原电池是把化学能转变为电能的装置。反之，将电能转变为化学能的装置就是电解池。在第2章中，我们学过的通直流电来电解饱和食盐水的装置，就属于电解池。

### 链接学科

#### 能源化学

“链接学科”：我国2019年煤炭消费占能源消费总量比重为57.7%，比2012年降低10.8个百分点；天然气、水电、核电、风电等清洁能源消费占能源消费总量比重为23.4%，比2012年提高8.9个百分点。我国可再生能源开发利用规模迅速扩大，水电、风电、光伏发电累计装机容量均居世界首位。

能源化学是化学分支领域，为人类实现科学利用能源和可持续发展提供保障。它涵盖了化石燃料的综合利用、新能源及可再生资源的开发与利用等领域，利用化学化工理论、技术解决能源的转化、储存、传输和利用等问题。能源化学的有些研究领域是研究化学转化反应的，如电催化二氧化碳还原制造燃料等；有些则是研究与能源转化相关的，如煤、石油、天然气的综合利用中高效催化剂的研制，锂离子电池、燃料电池和太阳能电池中新材料的研发等。

开发新能源、优化能源结构是解决能源危机的重要途径。氢能、风能、核能、太阳能、生物质能是一些洁净、高效的新能源，其中氢能、生物质能可通过化学反应直接利用，而太阳能、核能需要开发特殊的光电、核反应材料，因此新能源的开发和利用都离不开化学学科。



图5.24 利用风能和太阳能发电



1. 可以通过小组合作的方式，调查一项新型能源的来源与实际应用，以问卷、海报、微报告等多样化形式分享调查成果。
2. 可以设计蔬果手电筒的制作活动，利用铜片、锌片、发光二极管及其他生活中的材料，选择合适的蔬果材料，设计、制作一个简易的手电筒。

# 本章教学案例

## “铜—锌原电池” 教学片段设计

### 教学目标

- 通过对原电池反应实验现象的观察与微观特征的分析，初步形成宏观辨识、微观探析的化学思维方法。
- 通过原电池装置的设计活动，从能量转化、微粒转化层面入手认识能量转化的条件、原理，认识两者之间辩证统一的关系，提升认识、分析和解决问题的能力。
- 通过原电池的原理和构成条件的分析，建立原电池的认知模型，感悟实验对化学研究的重要作用，逐步养成严谨求实的科学态度。

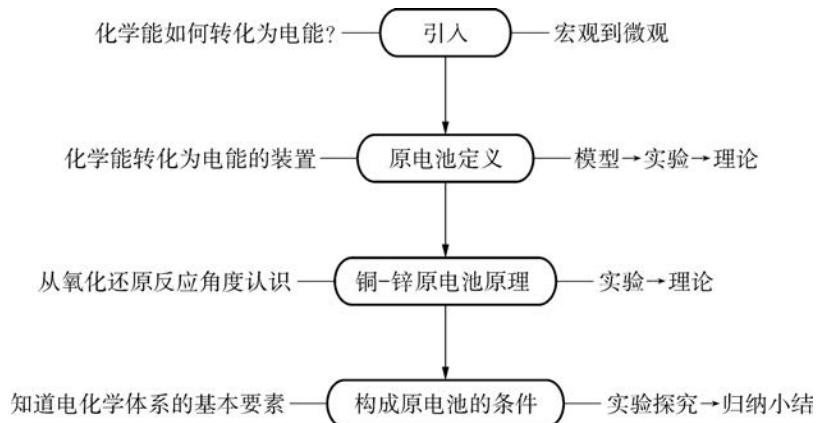
### 教学重点

铜—锌原电池原理。

### 教学难点

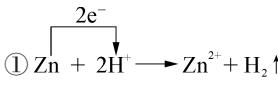
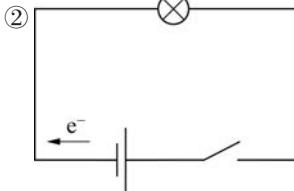
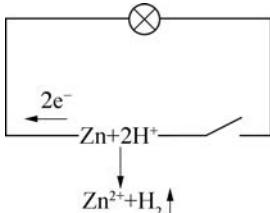
从电子转移角度理解化学能向电能转化的本质。

### 教学思路



### 教学片段 1——设计一个化学能转化为电能的装置

教师活动	学生活动	设计意图
<p>【任务布置】今天我们要来设计一个化学能如何转化为电能的装置。</p> <p>【实验演示】锌片与稀硫酸的反应。</p> <p>【提问】我们如何将这个反应中产生的化学能转化为电能呢？</p>	<p>【观察思考】如何通过氧化还原反应实现化学能向电能的转化。</p>	创设任务情境。

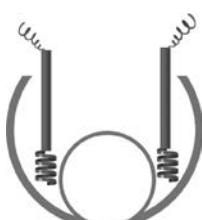
教师活动	学生活动	设计意图
<p>【提问】请分别描述下列过程。</p> <p>① <math>Zn + 2H^+ \rightarrow Zn^{2+} + H_2 \uparrow</math></p>  <p>②</p> 	<p>【回答】① 锌与酸反应的离子方程式； ② 物理的电路图。</p>	从学生已有的化学、物理知识出发，寻找实现能量转化的切入点。
<p>【提问】两个过程中出现了什么相同微粒？</p>	<p>【回答】电子。</p>	
<p>【提问】我们能否将两者融合，设计如图所示的装置，将氧化还原反应中的化学能转化为电能？</p> 	<p>【观察思考】如何利用氧化还原反应实现化学能向电能的转化。</p>	将物理、化学知识形成合理联结，从微观视角评估方案的可行性，培养学生跨学科分析问题的意识。
<p>【活动布置 1】模型制作。 依据方案设计图的模型制作与评价。 模型制作材料：苹果、锌片、铜丝。</p> <p>【提问】如何验证导线中有电流产生呢？在苹果模型中用贴纸表示。 【提示】引导学生思考，当导线中出现了电子的定向移动，就产生了电流。可以用电流表或灵敏电流计来进行测定。</p>	<p>【作品】用苹果表示稀硫酸，在苹果上插入锌片代表锌与稀硫酸的接触，将锌片上失去的电子用作导线的铜丝引出至溶液。</p> <p>【作品】在代表导线的铜丝上贴上代表电流表的贴纸，表示串联了一个电流表。</p> 	通过模型制作为学习增添了一些趣味性，同时也设置了一个思考的台阶，引导学生一步步达成能量转化装置制作的任务要求。
<p>【活动布置 2】实物装置制作。</p> <p>(1) 请大家参考各自的苹果模型，使用实验器材完成实物装置制作。</p> <p>(2) 观察实验现象。</p> <p>(3) 记录电流表示数。</p> <p>实验器材：锌丝、铜丝、稀硫酸，培养皿、多量程电流传感器、平板电脑等。</p>	<p>【作品】原电池装置的搭建。</p> 	<p>通过理论模型到实物装置的设计尝试，体验科学探究的过程，促进学生化学思维能力和创新能力的发展。</p> <p>在这个“转化”过程中，学生会遇到一系列困难，也能让学生认识到理论与实际的问题解决上的差异，体验化学、物理原理在实际装置中的运用。</p>
<p>【讲述】原电池定义。</p>		

## 教学片段 2——铜—锌原电池工作原理的分析

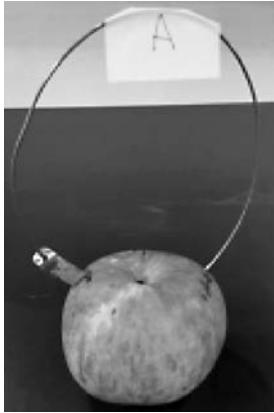
教师活动	学生活动	设计意图
【任务布置】反应 $Zn + 2H^+ \longrightarrow Zn^{2+} + H_2 \uparrow$ 如何在原电池装置中发生?		创设问题情境。
【动画演示】采用动画模拟反应时装置中各微粒的移动情况。	【观察思考】微观动画中各微粒的移动情况。 【回答】锌失去的电子，通过导线转移到铜片，溶液中的氢离子在铜片表面得到电子生成氢气。	在教学片段 1 的基础上，通过演示实验和学生实验从微观和宏观两个视角展现原电池的工作现象，启发并引导学生从中收集证据结合氧化还原的知识推出合理结论，进而自主完成对原电池工作原理的知识建构。
【活动布置】铜—锌原电池原理。 (1) 观察铜—锌原电池两极的现象。 (2) 结合之前的研究分析上述现象出现的原因。 (3) 在模型上贴上原理标签：电极反应、得电子、失电子、氧化反应、还原反应、正极、负极、电极材料。	【回答】(1) 铜丝上有明显气泡生成，锌丝上的气泡不明显。(2) 锌丝上失去的电子转移至铜丝，溶液中的氢离子主要在铜丝表面得到电子生成氢气。(3) 在模型上贴好原理标签：	用贴标签的方式进行原理分析，促进学生对原电池原理的理解，同时可增添学习的乐趣，激发学生继续学习的动力。
【小结】铜—锌原电池的工作原理。		

## 教学片段 3——建立构成原电池基本要素的认识

教师活动	学生活动	设计意图
【活动布置】替换铜丝。 (1) 各小组分工完成对原电池电极材料选择的研究。 (2) 填写共享文档，分享数据。	【自主探究】将铜丝替换成其他电极材料，测定电流数据并记录。	测定过程中不确定因素比较多，通过对于异常情况的判断培养学生敢于质疑、严谨求实的科学精神。
【演示实验】替换导电溶液。 使用电流及电导率传感器研究溶液导电性对原电池性能的影响。	【观察】将稀硫酸替换成乙醇后的电流计示数变化。	这是一个数字化演示实验，采取了对照的方式，用读数变化直观说明了溶液导电性与原电池输出电流的关系。
【演示实验】闭合回路。 使用自制教具展示原电池中电流闭合回路的形成过程。	【观察】发现实验中的异常现象，两极溶液未接触时，不产生电流，接触后出现电流示数。	演示实验部分设计了一个自制教具，能够完整演示稀硫酸加入过程中原电池由断路向通路的变化，具有很好的演示效果。
【小结】归纳构成原电池的基本要素。		



(续表)

教师活动	学生活动	设计意图
<p>【提问】我们知道苹果果汁中存在一些酸性成分，那从原电池的基本要素分析，你认为苹果模型是否构成了原电池呢？</p> 	<p>【实验验证】剪开铜丝，串联微电流传感器，观察电流示数。</p>	<p>增强课堂的趣味性，贯穿始终的苹果模型，竟然也是一个原电池。教师可以以此为契机，将学生对原电池的探究从课内衍生至课外，设计以水果电池为研究对象的实践性活动。</p>

案例提供者：上海市风华中学 余瑾

## 探秘食品膨松剂 ——碳酸钠与碳酸氢钠的性质

### 教学目标

1. 通过对碳酸钠性质的推测、验证，认识研究物质性质的基本方法。
2. 通过从物质组成角度比较碳酸钠与碳酸氢钠的性质的异同，形成“结构决定性质”的观念，了解一定条件下物质间可以相互转化。
3. 通过碳酸钠与碳酸氢钠的一系列性质对比实验，体验实验法、控制变量法等在科学探究研究中的应用，感受证据与推理在问题解决中的作用。
4. 通过数字化实验，探究碳酸钠与盐酸反应的本质。
5. 以“食品中的膨松剂”为情境，感受化学对人类生活的作用。

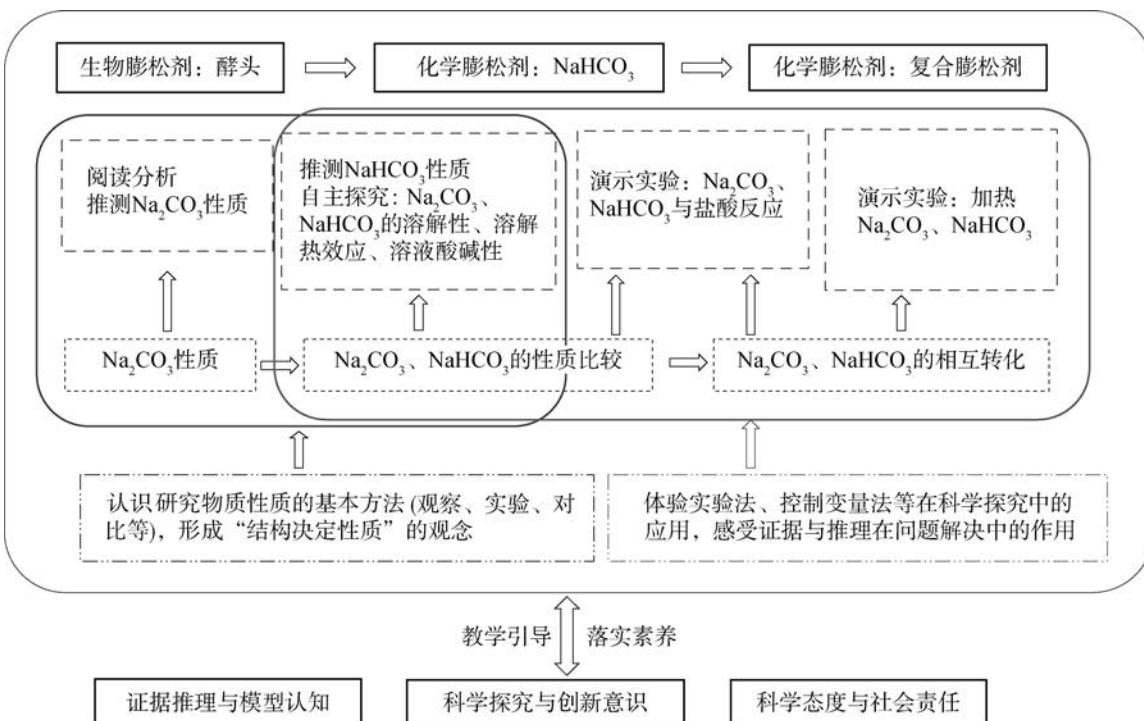
### 教学重点

认识研究物质性质的基本方法。

### 教学难点

碳酸钠与碳酸氢钠的性质比较。

## 教学思路



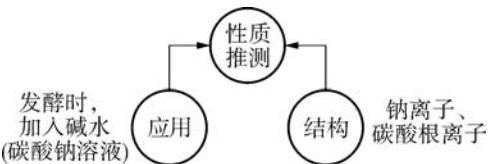
## 引入

教师活动	学生活动	设计意图
【视频】面包制作过程的片段。	【观察思考】烘焙过程中, 面团膨胀的原因。	引导学生观察现实生活中的现象并思考。

## 碳酸钠性质的预测、验证

教师活动	学生活动	设计意图
<p>【资料卡片】</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p><b>生物膨松剂——酵头</b></p> <p>用酵头发酵是我国传统的馒头制作方法。酵头的发酵原理是面团在酵母菌以及一定数量的其他微生物的共同作用下发生反应，生成二氧化碳、乳酸、醋酸等物质，其中二氧化碳能使面团内部形成海绵状结构，变得疏松；为减轻酸味、改变口感，常在面团中加入碱水（碳酸钠溶液）中和乳酸、醋酸等，这个过程也会产生二氧化碳，使面团变得更加松软。不过碳酸钠加入的量过多，会使蒸出来的馒头发黄、带有碱味。</p> </div> <p>【提问】分析信息、结合自己已知，思考并解释：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 酵头为什么能使面团膨松？</li> <li>(2) 碳酸钠的作用是什么？</li> </ol>	<p>【阅读、讨论、交流】酵头使面团膨松的原因。</p>	<p>提升从生活事实中提取证据、分析问题的能力。</p>

(续表)

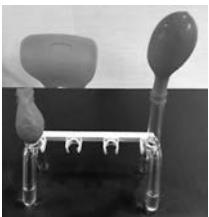
教师活动	学生活动	设计意图
<p>【活动布置1】从物质类别、组成等角度，依据复分解反应条件，推测碳酸钠的性质。</p> <p>【引导】搭设解决问题的台阶及方法。</p> 	<p>【预测】思考、交流碳酸钠的性质。</p>	<p>从物质类别和组成角度引导学生对碳酸钠的性质进行预测。</p> <p>在教师的帮助下通过“性质推测→实验验证→分析归纳”逐步认识研究物质性质的基本方法。</p>
<p>【活动布置2】实验验证碳酸钠的性质。</p>	<p>【观察、描述实验现象】碳酸钠溶液中分别加入氯化钙、氢氧化钡、酚酞。</p>	

### 碳酸氢钠性质的预测、验证

教师活动	学生活动	设计意图
<p>【资料卡片】</p> <p>化学膨松剂——碳酸氢钠</p> <p>配料：碳酸氢钠 使用量：按需使用 规格：250 g 保质期：18个月 贮存条件：避免阳光直射，阴凉通风干燥处，防热、防潮、远离有毒品</p> <p>化学膨松剂——碳酸氢钠 现在馒头、面包制作过程中，在发酵时常加入食用小苏打（碳酸氢钠）</p> <p>【活动布置】</p> <p>(1) 从物质类别、组成等角度，依据复分解反应条件，推测碳酸氢钠的性质。</p> <p>(2) 实验验证碳酸氢钠的性质。</p>	<p>【预测】碳酸氢钠的性质。</p> <p>【观察、描述实验现象】碳酸氢钠溶液中分别加入氢氧化钡、酚酞。</p>	<p>学生利用已有的研究物质性质的基本方法，对碳酸氢钠的性质进行推测。</p> <p>通过性质的推测与验证，学生会发现碳酸钠与碳酸氢钠具有很多相似点，所以为了进一步了解两者异同，学习进入下一个环节，碳酸钠与碳酸氢钠的性质比较。</p>

### 碳酸钠与碳酸氢钠的性质比较

教师活动	学生活动	设计意图																			
<p>【活动布置1】通过实验比较碳酸钠、碳酸氢钠在水中的溶解性、碱性强弱。</p> <p>【文献证据】</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">物质</th> <th colspan="4">溶解度 / [g · (100g H<sub>2</sub>O)<sup>-1</sup>]</th> </tr> <tr> <th>0 ℃</th> <th>10 ℃</th> <th>20 ℃</th> <th>30 ℃</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>碳酸钠</td> <td>7.1</td> <td>12.2</td> <td>21.8</td> <td>39.7</td> </tr> <tr> <td>碳酸氢钠</td> <td>6.9</td> <td>8.1</td> <td>9.6</td> <td>11.1</td> </tr> </tbody> </table>	物质	溶解度 / [g · (100g H <sub>2</sub> O) <sup>-1</sup> ]				0 ℃	10 ℃	20 ℃	30 ℃	碳酸钠	7.1	12.2	21.8	39.7	碳酸氢钠	6.9	8.1	9.6	11.1	<p>【实验、观察、记录分析】将相同质量的碳酸钠、碳酸氢钠溶解于相同体积的水中，并感受溶解过程中的热效应。</p>	<p>通过碳酸钠与碳酸氢钠的性质比较，完善研究物质性质的基本方法：</p> <p>(1) 证据收集（碳酸钠、碳酸氢钠的溶解度数据、实验现象）。</p> <p>(2) 实验探究（设计对比实验、控制变量思想）。</p> <p>(3) 方法完善。</p> <p>(4) 实践应用（根据所学知识解决实际问题）。</p>
物质		溶解度 / [g · (100g H <sub>2</sub> O) <sup>-1</sup> ]																			
	0 ℃	10 ℃	20 ℃	30 ℃																	
碳酸钠	7.1	12.2	21.8	39.7																	
碳酸氢钠	6.9	8.1	9.6	11.1																	
<p>【活动布置2】设计实验方案，归纳碳酸钠、碳酸氢钠与盐酸反应的异同。</p> <p>实验用品：试管、0.1 mol · L<sup>-1</sup> 碳酸钠溶液、0.1 mol · L<sup>-1</sup> 碳酸氢钠溶液、0.1 mol · L<sup>-1</sup> 盐酸。</p>	<p>【回答】都有气体产生，但逐滴加入盐酸时，装有碳酸氢钠溶液的试管中产生氢气更“快”。</p>																				

教师活动	学生活动	设计意图
<p>【演示实验】用 Y 形管和气球的改进装置演示碳酸钠、碳酸氢钠与盐酸反应的实验。</p>  <p>【提问】为什么碳酸氢钠产生的二氧化碳更多、更快?</p>	<p>【观察、分析】碳酸氢钠产生的二氧化碳更多更快的原因。</p> <p>【回答】① 用所学“物质的量”的知识，解释为什么相同质量的碳酸钠、碳酸氢钠与同浓度足量的盐酸反应，碳酸氢钠产生的二氧化碳气体多；② 解释不了“碳酸氢钠产生的二氧化碳气体快”的问题，带着探究的好奇心进入视频实验学习。</p>	
<p>【演示实验】探究反应的微观实质。</p> <p>使用 pH 传感器、光电门传感器，测定相同物质的量浓度的碳酸钠与碳酸氢钠与同浓度盐酸反应过程中的 pH 变化。</p>  <p>【提问】为什么碳酸氢钠产生的二氧化碳更快？请用离子方程式表征反应的过程。</p>	<p>【观察、思考】根据实验得到的溶液 pH-V (盐酸) 的关系图，分析碳酸氢钠、碳酸钠与盐酸反应的实质，并书写相关离子方程式。</p> <p>【回答】碳酸钠与盐酸的反应：  <math>\text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-</math>，  <math>\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow</math>。因为先生成了碳酸氢钠，所以产生气体略慢，而碳酸氢钠与盐酸的反应：  <math>\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow</math>，滴入盐酸时即刻发生反应，所以产生气体更快。</p>	
<p>·发现新问题</p> <p>【资料卡片 1】碳酸氢钠做膨松剂的不足。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p>化学膨松剂——<math>\text{NaHCO}_3</math></p> <p>做馒头时在面团中如果只加小苏打 (<math>\text{NaHCO}_3</math>)，蒸出来的馒头是膨松的，但色泽发黄并略带碱味。</p>  </div>		利用只用碳酸氢钠做膨松剂的不足，创设一个新的问题，让学生围绕碳酸钠与碳酸氢钠的性质差异进行分析与解决问题，进一步完善研究物质性质的基本方法，引导学生关注生活中的化学，从化学事实中认识到不同物质之间可以相互转化，巩固与深化碳酸钠与碳酸氢钠的性质及转化。
<p>·分析问题</p> <p>【活动布置 3】根据所学知识，推测、解释原因，并提出解决问题的方法。</p> <p>【演示实验】碳酸钠、碳酸氢钠分解实验。</p> <p>【提问】碳酸钠与碳酸氢钠固体受热时的现象有什么不同，你能用化学方程式表示这个过程吗？</p>	<p>【观察、思考、讨论】碳酸氢钠在加热条件下发生的变化。</p> <p>【回答】碳酸钠的热稳定性较好，碳酸氢钠受热会分解产生二氧化碳。</p> $2\text{NaHCO}_3 \xrightarrow{\Delta} \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$	

(续表)

教师活动	学生活动	设计意图
<p>• 问题解决</p> <p>【提问】能解释为什么只用碳酸氢钠做膨松剂时，馒头会膨松但却略带碱味吗？</p> <p>【资料卡片 2】</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p>化学膨松剂——复合膨松剂</p> <p>主要成分：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 碳酸盐（碳酸氢钠）</li> <li>2. 酸性物质（酒石酸、柠檬酸、酒石酸氢钾、磷酸二氢钙等）</li> <li>3. 淀粉</li> </ol> </div> <p>【讲述】现在市售膨松剂常见的是复合型，除了有小苏打，还加入了酸性成分与其反应。</p>	<p>【回答】因为碳酸氢钠分解产生二氧化碳和碳酸钠，二氧化碳使馒头膨松而碳酸钠会使馒头带碱味，口感变差。</p>	

### 作业布置

1. 设计多种方法鉴别碳酸钠与碳酸氢钠。
2. 观察膨化食品、烘焙食品的配料表，找出其中的膨松剂。
3. 查阅资料，列举食品中其他复合膨松剂的成分、原理、优缺点。

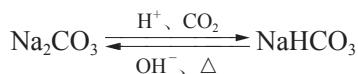
### 板书设计

## 探究食品膨松剂 ——碳酸钠与碳酸氢钠的性质

### 一、碳酸钠和碳酸氢钠性质的比较

	碳酸钠	碳酸氢钠
溶解性	可溶（溶解性较大）	可溶（溶解性较小）
碱碱性	碱性（较强）	碱性（较弱）
与盐酸的反应	反应（产生气体较慢）	反应（产生气体较快）
热稳定性	较好	较差 ( $2\text{NaHCO}_3 \xrightarrow{\Delta} \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$ )

### 二、碳酸钠与碳酸氢钠的相互转化



案例提供者：静安区教育学院 陆惠莲

# 本章教学问题讨论与教学资源链接

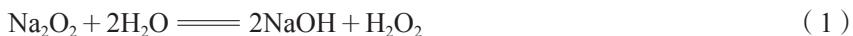
## 实验讨论

### 1. 过氧化钠性质的探究

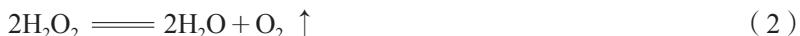
第5章第2节介绍重要的金属化合物——过氧化物，通过“实验探究”引入了“过氧化钠性质的探究”的实验，旨在让学生通过观察过氧化钠与水反应的实验现象，理解和掌握过氧化钠的化学性质。

教师可以在课堂上通过设问启发学生思考，例如：为什么酚酞滴入过氧化钠与水反应的溶液中会显红色？为什么放置一段时间后又褪色了呢？实验中，教师可以将已显色的溶液多放置一段时间，以便让学生看到溶液褪色的过程。

过氧化钠与水的反应过程被认为是分两步进行的，第一步是过氧化钠与水反应生成氢氧化钠和过氧化氢：



第二步是过氧化氢分解产生氧气：



当酚酞试液被滴加到反应液中时，由于反应液呈碱性而显红色（图5-2）。

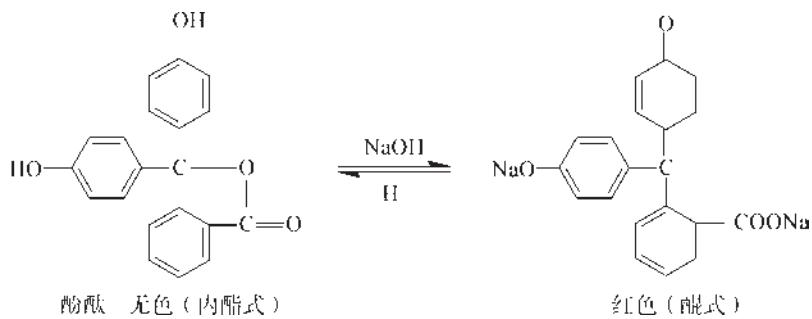


图5-2 酚酞变色结构示意图

随着反应的进行，溶液中的氢氧化钠浓度不断升高，当溶液的碱性逐渐增强时，酚酞中的醌式结构被破坏，形成无色的三钠盐，所以溶液会褪色（图5-3）。

同时，反应中产生的过氧化氢具有氧化性和漂白性，也会使酚酞中发色基团的结构被破坏而使溶液褪色。过氧化氢水溶液的强氧化性与其分解出的自由基·OH相关，自由基·OH具有很强的氧化性，能够氧化酚酞显色的醌式结构，从而使其褪色<sup>[1]</sup>。

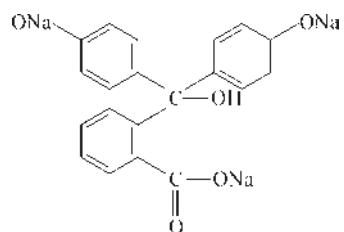


图5-3 酚酞形成的无色三钠盐

## 2. 氢氧化铁和氢氧化亚铁的制备

第5章第2节中介绍重要的金属化合物——氢氧化物，通过“实验探究”引入了“氢氧化铁和氢氧化亚铁的制备”的实验，旨在通过氢氧化铁和氢氧化亚铁的制备与条件控制，让学生理解铁氢氧化物的化学性质，了解 $\text{Fe}^{3+}$ 与 $\text{Fe}^{2+}$ 之间的相互转化。

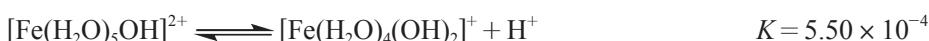
教师在课堂上可以通过下述问题启发学生：为什么在实验设计中制备 $\text{Fe(OH)}_2$ 要隔绝氧气？为什么 $\text{Fe(OH)}_2$ 放在空气中会有氧化过程？通过与制备 $\text{Fe(OH)}_3$ 的不同操作，引导学生分析内在化学变化因素。

$\text{Fe(OH)}_2$ 与氧气反应，很容易被氧气氧化成 $\text{Fe(OH)}_3$ :  $4\text{Fe(OH)}_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{Fe(OH)}_3$ 。因此，在制备 $\text{Fe(OH)}_2$ 反应时，通常将惰性气体通入待反应的溶液中，以赶出溶解在溶液中的氧气，并在反应过程中始终用惰性气体进行保护。制备的 $\text{Fe(OH)}_2$ 为白色，当其吸附水之后就成淡绿色，这与 $\text{FeSO}_4$ 相似，不含有结晶水的 $\text{FeSO}_4$ 是白色粉末，当带有结晶水形成绿矾时，就呈淡绿色<sup>[2]</sup>。当暴露在空气中发生氧化反应，生成 $\text{Fe(OH)}_3$ ，样品逐渐变为红褐色。

教材中三价水合铁离子常被描述为是黄棕色的，其实三价水合铁离子 $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ 颜色是淡紫色（或近于无色）的（ $\text{pH}<0$ ）。

许多可溶性铁（Ⅲ）盐的水溶液以 $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ 形式存在，是高自旋态，电子的d-d跃迁是自旋禁阻的，光吸收很弱，所以其颜色是淡紫色（或近于无色的），例如从溶液中得到的 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{KFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 晶体。

既然 $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ 是淡紫色的，那么为什么平常在水溶液中我们看到的是黄棕色，甚至红棕色的呢？这主要是因为铁（Ⅲ）盐溶于水后，当溶液 $\text{pH} \geq 1$ 时即发生水解。



$[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_4]^{4+}$ 为双聚体（图5-4）。

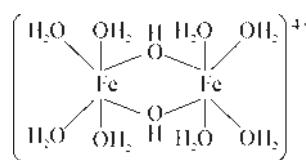


图5-4  $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_4]^{4+}$  双聚体结构

当溶液的酸性较强时（ $\text{pH}<0$ ），平衡向左移动， $\text{Fe}^{3+}$ 主要以淡紫色 $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ 存在；当 $\text{pH}$ 提高到2~3时，水解趋势明显，聚合倾向增大，主要以羟基水合离子形式存在，溶液颜色为黄棕色，随着 $\text{pH}$ 继续升高，溶液由黄棕色逐渐变为红棕色，最后析出红棕色的胶体 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 沉淀。

由 $\text{Fe(III)}$ 吸收光谱可以得出， $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ 和各种羟基水合离子的吸收峰的位置是不同的。 $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ 的吸收峰在紫外区，淡紫色（近于无色），而羟基水合离子吸收峰尾部进入了可见光的短波区，所以显黄棕色。

因此，我们通常所见到的铁（Ⅲ）盐水溶液的黄棕色是由铁（Ⅲ）离子的水解产物所致，并非真正的三价铁的水合离子的颜色。只要创造强酸性条件，抑制其水解，使 $\text{pH}$ 在0附近，能看到 $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ 真正的淡紫色（或近于无色）<sup>[3]</sup>。

## ▶ 教学疑难问题解析

### 1. 金属的光泽、熔点、硬度等性质

金属一般都具有金属光泽，熔点、沸点高，硬度大等特性，这主要是由金属的结构所决定的。金属原子的价电子比较少，电离能又比较小，金属原子容易失去电子。金属的晶体结构实际上是金属原子释出电子后所形成的金属离子按一定规律堆积起来的，释出的价电子在整个晶体里自由地运动着，这些电子叫做自由电子。金属离子与自由电子之间存在着较强的作用，使许多金属离子结合在一起。这种金属离子与自由电子间较强的作用叫做金属键。金属内部存在的自由电子，且不专属于某几个特定的金属离子，而为许多金属离子所共有，几乎均匀地分布在整个晶体里。当光线投射到它的表面上时，晶体中的自由电子可以吸收光能而呈现能量较高的状态。但是，这种状态不稳定，电子跃迁回到低能量状态时，会将吸收的各种波长的光辐射出来，使得金属不透明并具有金属光泽。金显黄色，铜显赤红色，铯为淡黄色，以及铅是灰蓝色，这是因为它们较易吸收某一些频率的光而产生的。

不同金属之间硬度、熔点、沸点的差异，是由金属键的强弱决定的，而金属键的强弱与金属原子的原子半径、价电子数以及金属原子的堆积方式等有关。同主族元素，价电子数相同，若采用相同堆积的方式，则原子序数越大，半径越大，金属键减弱，金属沸点、熔点降低，硬度变小，如 IA 族的金属的沸点、熔点、硬度随着原子序数的增加而降低；若同周期，相同堆积方式，价电子越多，金属键越强，沸点、熔点升高，硬度变大。

### 2. 四氧化三铁的结构与性质

四氧化三铁是磁铁矿的主要成分。 $\text{Fe}_3\text{O}_4$  可由在空气或氧气中加热  $\text{Fe}$  或  $\text{FeO}$  (1 673 K)，也可在真空中加热  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (523 K) 制得。在  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  中，存在着三分之一  $+2$  价铁，三分之二  $+3$  价铁，但不能将  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  看成  $\text{FeO}$  和  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的混合氧化物。

$\text{Fe}_3\text{O}_4$  中离子间的排列方式与尖晶石结构类似。尖晶石的化学式为  $\text{AB}_2\text{O}_4$ ，是通过  $\text{O}^{2-}$  按等径圆球立方密堆积排列起来的，而  $\text{A}^{2+}$ 、 $\text{B}^{3+}$  填充在密堆积的空隙中。立方密堆积的排列中会留下两种不同类型的空隙——四面体空隙和八面体空隙（图 5-5）。 $n$  个  $\text{O}^{2-}$  在晶体中立方密堆积可产生  $2n$  个四面体空隙和  $n$  个八面体空隙，因此， $\text{AB}_2\text{O}_4$  一般写成  $\text{A}[\text{B}_2]\text{O}_4$ ，方括号内是占据八面体空隙的离子。

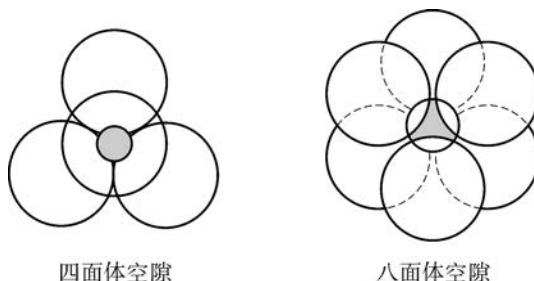
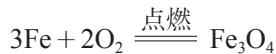


图 5-5 立方密堆积中的四面体、八面体空隙

尖晶石结构的一种重要的变体是反尖晶石结构，即  $\text{B}[\text{AB}] \text{O}_4$ ， $\text{B}$  离子有一半在四面体空隙中， $\text{A}$  离子和另一半  $\text{B}$  离子在八面体的空隙中。 $\text{Fe}_3\text{O}_4$  就属于这种反式结构，即  $\frac{1}{2}$  的  $\text{Fe}^{3+}$  在四面体空隙中，而  $\text{Fe}^{2+}$  和剩余的  $\frac{1}{2}$   $\text{Fe}^{3+}$  在八面体空隙中，可用  $\text{Fe}(\text{III})[(\text{Fe}(\text{II})\text{Fe}(\text{III})]\text{O}_4$  来表示。

晶体中含有交替排列的  $\text{Fe}^{2+}$  和  $\text{Fe}^{3+}$ ，电子很容易因电场影响从  $\text{Fe}^{2+}$  转移到  $\text{Fe}^{3+}$ ，因此  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  具有较高的导电性<sup>[4]</sup>。

铁在氧气中燃烧以及与水反应生成的都是  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ，接下来，进行简单的热力学分析：

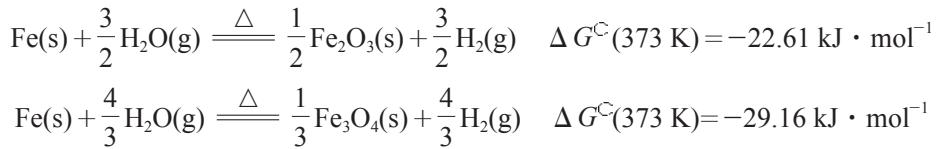


铁在氧气中燃烧时，放出大量的热，温度应高于  $1400^\circ\text{C}$ ，此时生成的是  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ，而不是  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 。我们进行热力学计算：



在该温度下反应吉布斯自由能小于零，反应发生， $\text{Fe}_2\text{O}_3$  不稳定，生成  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 。这使铁在氧气中燃烧生成  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 。

对铁与水蒸气的反应，我们进行热力学分析（HSC 热力学计算， $100^\circ\text{C}$ ）：



$100^\circ\text{C}$  左右生成  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  的反应吉布斯自由能小于生成  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  反应，热力学上更易生成  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ，而在实际反应中产生的氢气也不是非常充足，致使整个反应倾向于生成  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 。

### 3. 化学电池中负极材料的选择

把两种不同的金属浸在电解质水溶液即可制作一个简单的化学电池。制作廉价、易于携带、可靠、方便和耐用的电池，对电池电极材料一般有如下要求：

- ① 廉价。
- ② 两者在金属活动性顺序中相距较远，构成的电池产生足够的电压。
- ③ 不太活泼，不会与电解质中的水发生激烈反应。

对于电极材料的选择需要综合材料的化学性质与经济因素，而材料的化学性质起着决定作用。

因此，对于化学电源负极材料而言，首先想到的是具有较强还原性的金属单质。因受电解质水溶剂的限制，只有那些还原性较强且其析氢过电位较高的镁、锌、铅、镉等金属被实际用作化学电源的负极活性物质。综合考虑环境污染以及对水抗腐蚀性等因素，锌往往作为电池负极材料的优选。锌作为负极时的放电产物因所用的电解质溶液不同而不同。

中性干电池中： $\text{Zn} + 2\text{NH}_4\text{Cl} - 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Zn}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2 \downarrow + 2\text{H}^+$

酸性干电池中： $4\text{Zn} + 9\text{H}_2\text{O} + \text{ZnCl}_2 - 8\text{e}^- \longrightarrow \text{ZnCl}_2 \cdot 4\text{ZnO} \cdot 5\text{H}_2\text{O} \downarrow + 8\text{H}^+$

碱性干电池中： $\text{Zn} + 4\text{OH}^- - 2\text{e}^- \longrightarrow [\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$

因此，提高碱性电池中的碱度可减少生成物的覆盖，避免负极钝化。此时，放电电流大，连续时间长，电压降慢等优势，这是锌作为负极材料在水电解质电池中的成功运用。

随着非水基极性溶剂电解质溶液的出现，还原性更强的锂、钠、钾、钙，也被用作负极材料，其中金属锂负极已经得到实际运用。以金属离子“嵌入脱出”机理为基础的“摇椅式”电池的出现，促成了非金属、金属氧化物如石墨、氧化锡、硅、复合金属氧化物等材料成为锂离子（钠离子）电池的负极材料<sup>[5]</sup>。

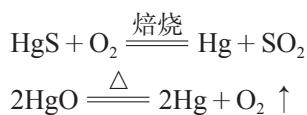
## 教学资源

### 1. 金属的冶炼

大多数元素在漫长的地球化学演化过程中达到了自由能低的化合态，形成了相对独立的矿物资源。一些有用成分含量过低的矿石往往不具备开采价值，只有矿石的品位达到可利用的最低要求时，才能被开采利用。从矿石提炼金属需要经过选矿、粗炼和精炼等几个步骤。选矿是用物理或化学方法去除矿石中的无用成分，常用的物理方法有：重力分离和浮选。若金属金银与泥土或岩石混在一起，由于金属的质量较重，可用流水冲洗混合物，让流水带走较轻的粒子，留下金属；若矿物有磁性，可采用磁力选矿。选完矿后，需要进一步冶炼，一般有热冶炼、电解、湿法冶炼等，从而实现金属分离，得到高纯度金属单质。

#### (1) 金属的热冶炼

不活泼金属的硫化物或氧化物加热时会分解，可直接加热矿石得到金属单质。



对于稳定的金属化合物，可采用还原法加入碳或活泼金属还原目标金属，得到金属单质。例如铜、铁、钛等冶炼都采用了还原方法。

碱式碳酸铜矿石焙烧后变成氧化铜，氧化铜进一步被碳还原为金属铜。



只要把碱式碳酸铜矿石和木炭混在一起燃烧，就会有金属铜生成。这很可能与人们的偶然发现有关，当时人们把一些蓝色含铜矿石放到炭火中烧，意外地获得了红色的球状金属颗粒，于是就开始了金属铜的冶炼。

目前世界上大量的铜是从含铁硫化物的矿石中提取的。由黄铜矿冶炼的传统工艺是火法冶炼，先后在焙烧炉、反射炉和转炉等三种炉子内烧炼。

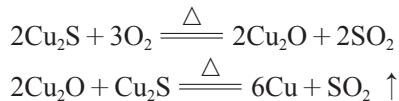
先在焙烧炉中高温和空气反应，黄铜矿的铜转变为硫化亚铜。



接着把焙烧炉中的混合物转移到反射炉中，加适量的石灰石和硅石与铁的氧化物反应生成钙-铁熔渣：



最后，钙-铁熔渣与 Cu<sub>2</sub>S 分层，Cu<sub>2</sub>S 转入转炉，鼓入空气反应，得到金属铜。



火法冶炼制得的金属铜还含有不少杂质，这种粗铜称为泡铜，可进一步通过湿法精炼获得杂质含

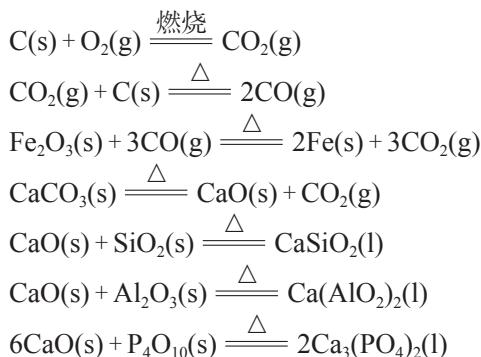
量比较少的纯铜。另外，火法冶炼黄铜矿的最大缺点是在冶炼过程中要排放大量  $\text{SO}_2$  而导致大气污染，能耗也比较大。

代替火法冶炼的一种湿法工艺，是用  $\text{CuCl}_2$  和  $\text{FeCl}_3$  的混合溶液处理黄铜矿，沉降下来的  $\text{CuCl}$  和  $\text{S}$  的固态混合物再用过量  $\text{NaCl}$  水溶液处理，使固体  $\text{CuCl}$  转变为亚铜的配合物溶解，不溶的  $\text{S}$  通过过滤去除。亚铜配合物会发生歧化反应，得到金属铜及可重复使用的  $\text{CuCl}_2$  溶液。这种湿法工艺可以冶炼铜并获得单质硫，避免了  $\text{SO}_2$  的排放。

铁是地球丰度仅次于铝的金属元素，最主要的铁矿石赤铁矿  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、褐铁矿  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 、磁铁矿  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  等。但在 273.15 K 时， $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})$  的  $\Delta_f G^\circ$  为  $-248 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ， $\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s})$  的  $\Delta_f G^\circ$  为  $-254 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ，比  $\text{CuO}$  的  $\Delta_f G^\circ$  要负很多，因此铁的氧化物形成单质比较困难，采用碳还原需要很高的反应温度，铁比铜难以获得，历史上铁石器时代要比青铜时代晚。

铁的冶炼是在鼓风炉里进行的，赤铁矿、石灰石和焦炭按一定比例混合从炉顶加入，焦炭既作为燃料又作为还原剂，石灰石可用来除去混杂在铁矿石中的硅、铝、黏土和其他少量杂质。

在鼓炉底层焦炭燃烧生成二氧化碳，放出大量热量；鼓炉中层二氧化碳与焦炭反应生成一氧化碳，鼓炉上层一氧化碳还原铁的氧化物；而铁矿石中的硅、铝等形成氧化物与氧化钙反应，形成炉渣被除去。

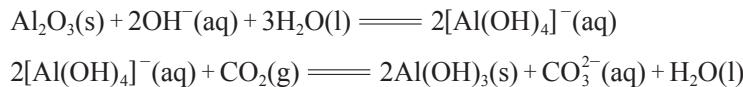


## (2) 电解

活泼金属的氧化性比较弱，用碳还原法和金属热还原法无法将它们从化合物中还原出来。制取这些金属单质是用其氯化物或氧化物的电解还原。

用电冶炼法生产金属铝包含两个步骤：第一步是用湿法除去铝土矿中的杂质，制取纯净的氧化铝；第二步是电解。

铝土矿溶于氢氧化钠，过滤去除不溶的杂质，然后在滤液中通入二氧化碳，析出氢氧化铝沉淀。



所得的氢氧化铝沉淀在 1 200 °C 的高温下煅烧脱水，得到纯净的氧化铝。氧化铝的熔点高达 2 050 °C，但它和冰晶石  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  所形成的固态溶液的熔点在 950 °C 左右。电解前，氧化铝溶于冰晶石，在熔融状态下电解，氧气在阳极释放，阴极析出熔融状态的铝<sup>[6]</sup>。

## (3) 湿法冶炼

湿法冶炼大多采用化学方法，即把矿石转变为所需金属的可溶性盐，再用其他金属或电解法置换出目标金属。西汉时期刘安所著的《淮南万毕术》中记载，将铜矿物转化为硫酸铜溶液或其他铜盐溶液，

加入铁片，置换得到单质铜，这是现代湿法冶炼的最早运用。湿法黄金提取即湿法冶金，目前主要有氰化法，用氰化钠或氰化钾加热溶解、锌丝还原提炼黄金。湿法冶金一般包括：①预处理工序；②浸出工序；③固液分离工序；④溶液净化富集及分离；⑤析出化合物或金属。浸出过程中浸出液的品质直接决定了后面工序提取金属的纯度，浸出过程就是用化学试剂将矿石或精矿中的有用组分转化为可溶性化合物，得到含金属的溶液，实现有用组分与杂质组分的分离过程。以氰化浸出过程为例，采用的浸出剂为氰化钠，通过向浸出槽通入压缩空气供给浸出过程所需的溶解氧并产生气力搅拌，使反应彻底。



含有目标金属的浸出液采用化学或电解法将目标金属提取出来，如采用锌丝将金还原出来。



## 2. 合金

纯金属有很多用途，但较多纯金属质地较软，而且容易受侵蚀，所以用途受到限制。掺入其他元素（金属或非金属），便可增加该金属的硬度、强度和抗腐蚀能力。这种物质称为合金，合金可以由两种或两种以上的金属组成，有些合金则可由金属和非金属组成。由两种金属制成的合金性质通常会介乎两种金属之间，但有时合金的性质与其成分金属的性质相差比较大。常见的合金有黄铜、青铜、不锈钢、铝合金等。

金属铝与其他金属（非金属）熔合形成铝合金，铝合金的性能优异，在生产、生活中应用广泛。铝合金密度小、强度高、塑性好、成本低、抗腐蚀能力强，主要用于建筑业、交通运输业以及电子行业。例如，铝合金可做建筑外墙材料及房屋的门窗，还可制成汽车车轮骨架等。

由于工业上的实际需求，通常要求材料除了自身特性外，同时还需要较高的强度和力学性能。研究表明在铝中加入适量的其他金属元素（Mg、Si、Cu、Mn等）所得到的各类合金，其机械强度和力学性能都能得到较大的提升。

铝合金发展迅猛，仅在不到两百年间已经成为重要的工业材料。由于铝合金比强度高，在各个领域得到运用，逐渐成为用途最广的结构材料之一。在船舶制造业，铝合金有着不可替代的作用，它可以减少船身重量和节省制造成本。另外，铝合金具有优异的导电性以及导热性，在电力传输以及电子器件制造业也得到应用。

纯金质地软，不太适合用来制造首饰、金币等易受磨损的制品。因此很多金制首饰和钱币是由合金制成的。

钢是被广泛使用的铁合金，铁和碳组合可制成钢，碳的含量由0.1%至1.5%不等。钢的强度和硬度会随着碳含量不同而改变，钢由于其坚固且价格便宜，被广泛使用。

钛合金表面一般呈银灰色光泽，其制造工艺较复杂，最早是由美国于1954年首先研制成功。钛合金材料有着优异的整体性能：比强度高、低温性能好、耐高温、耐腐蚀等一系列优点，在20世纪50年代，由于国际形势的需要，钛合金材料受到各国的青睐，被广泛地应用于航空航天领域，制造高新技术产品。钛合金作为一种新型金属，具有以下优异性能：

### （1）比强度高

钛合金比大部分合金结构的强度要大得多，但其密度却相对较小，近似为钢的60%，一般为

$4.5 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。在相同的强度下，用钛合金材料制造的零件要轻，这一点对于空间有限、重量有极大限制的航空航天产品非常重要。因此钛合金材料被用于制造飞机的发动机、骨架、起落架以及火箭和卫星的外壳等。

#### (2) 热强度高

相比于铝合金，钛合金的热强度要高很多，钛合金可以长期在  $450\sim500^\circ\text{C}$  的温度下工作而仍保持较高的强度，而当温度达到  $150^\circ\text{C}$  时，铝合金的比强度将明显降低。钛合金可以在  $150\sim500^\circ\text{C}$  范围内正常工作，其正常工作温度可达  $500^\circ\text{C}$ ，而铝合金工作温度则低于  $150^\circ\text{C}$ 。

#### (3) 抗腐蚀性好

钛合金抗腐蚀性能强，它能抵抗点蚀、酸蚀并且还能同时抵抗碱、氯有机化学品、氯化物、硝酸和硫酸等物质的腐蚀；钛合金在潮湿的空气中以及海水中，抗腐蚀性能都很强。

#### (4) 低温性能好

钛合金不仅是一种耐高温的材料，同时也是一种重要的低温结构材料。在低温或者超低温下，钛合金仍能正常工作，有着良好的力学性能。

### 3. 生物质能

生物质是地球上最广泛存在的物质，包括所有的动物、植物和微生物，以及由这些生命物质派生、排泄和代谢的物质。生物质能通常包括木材及森林工业废弃物、农业废弃物、水生植物、油料植物、城市和工业有机废弃物及动物粪便等。生物质能一直是人类赖以生存的可再生能源，是仅次于煤炭、石油和天然气而居于世界能源消费总量第四位的能源，在整个能源系统中占有重要地位。

目前我国生物质能产业在沼气技术、生物质气化技术、固体和液体燃料技术以及生物质工程技术等方面都有一定的发展，但仍然存在着技术开发进展缓慢、关键技术不成熟的问题。中国也是继美国和巴西后的第三大燃料乙醇生产大国。从资源可持续供给和取得根本性技术突破的角度看，生物质热解液化、生物质气化合成燃料具有更加宽泛的资源基础和广阔的发展应用前景，与纤维素燃料乙醇一起通称为第二代生物质液体燃料。生物质能利用技术主要在如下几方面：

#### (1) 生物质燃烧发电技术

生物质燃烧发电可分为生物质直接燃烧发电和混煤燃烧发电。生物质直接燃烧发电与传统的煤燃烧发电类似，采用先进的生物质锅炉设备，使生物质在过量空气下充分燃烧，直接释放燃料热能，然后转化为电能。由于燃料供应限制，电站规模比较小，一般采用朗肯循环进行蒸气发电；生物质能量密度低，锅炉燃烧温度较低，产生的蒸气温度和压力不高，系统效率也比较低。

#### (2) 生物质气化发电技术

生物质气化发电是指在热力学条件下，利用气化反应器将生物质中的碳氢化合物转化为含有  $\text{H}_2$ 、 $\text{CO}$  和小分子烃类的可燃气体，然后经过除尘、除焦油、冷却等净化处理，作为气体燃料来驱动燃气轮机或燃气内燃机发电机组发电。该技术适用范围广，利用甘蔗、薯类、秸秆、谷壳、树皮等废弃生物质原料发电。生物质气化发电具有较强的适应性、负荷可调、环保洁净等优点，在国内具备推广使用的条件。

#### (3) 生物质热化学转化技术

生物质热化学技术是指将生物质原料在一定的热力学条件下进行热解或气化反应生成焦炭、燃气、

生物油或其他高附加值化学品，如燃料乙醇的利用技术。根据目标产物的不同，可分为多种技术路线，如生物质集中供气系统、生物质液化系统、生物质热解多联产系统、生物质制氢系统等。生物质热解液化主要是在闪速加热条件下，以获得液态生物油为主要目标产物的技术，为获得较好的生物油品质，一般需要添加催化剂。生物质气化不仅可以发电，也可以为居民提供燃气，甚至经过重整提质可以生产高品质的氢气、合成气、甲烷、液体燃料等。目前生物质热化学利用技术更多关注某一主产品的利用，对其他副产物缺乏重视，造成污染和浪费。而基于热解产物综合利用的生物质热解多联产工艺在技术和经济上都进行了优化，是我国现阶段生物质资源利用的重要发展方向。

#### 4. 化学能与电能

日常生活中许多用品需要化学电池来提供电力，化学电池是一种将化学能转化为电能的装置。化学电池的原理是当两种具有不同标准电极电势的材料连接时，自发进行伽伐尼反应，即热力学反应，其中具有较低的标准电极电势的材料发生氧化半反应，而具有较高标准电极电势的材料发生还原半反应。自 1800 年意大利物理学家伏特（A. Volta）发明伏打电池以来，新型化学电池不断开发出来，出现了锂离子电池、钠-硫电池、氢燃料电池、锂-硫电池和锂-空气电池等。

20 世纪 80 年代，一种“摇椅式电池”的构想被提出，用可嵌入层状化合物替代金属锂作为负极使用，在充放电过程中  $\text{Li}^+$  在正、负极之间往返运动。科学家选用层间距为 0.35 nm 的石墨作为负极材料，为离子半径 0.076 nm 的  $\text{Li}^+$  迁移提供通道，形成  $\text{LiC}_6$  层间化合物。美国科学家古迪纳夫（Goodenough，2019 年诺贝尔化学奖获得者）和其他科学家发现过渡金属氧化物稳定的层状结构能够保障  $\text{Li}^+$  稳定的嵌入 / 脱嵌，后来  $\text{Li}_2\text{MO}_2$  ( $\text{M}=\text{Ni}$ 、 $\text{Co}$ 、 $\text{Mn}$ ) 被选为正极嵌入材料。

锂离子电池充放电都与锂离子浓度有关。工作原理如图 5-6 所示，充电时  $\text{Li}^+$  从正极脱出，以电解液为载体穿过隔膜嵌入到负极材料层间，此时正极的锂离子浓度降低，且金属阳离子失去电子被氧

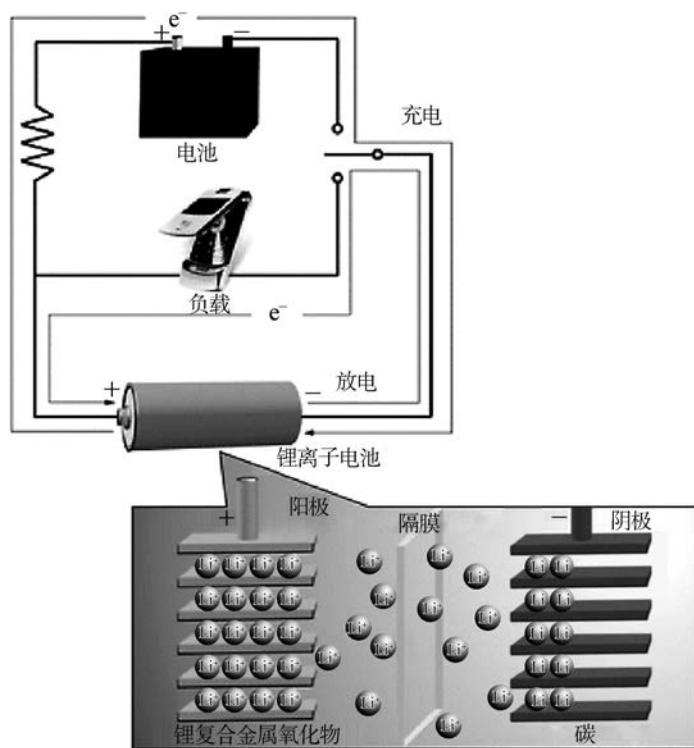


图 5-6 锂离子电池工作原理图<sup>[7]</sup>

化，电子经外电路向负极运动，负极处于“富锂”状态，电能转化为化学能；当电池放电时， $\text{Li}^+$ 从负极重新返回嵌入“贫锂”态的正极，使正极锂离子浓度升高，电子在外电路从负极向正极移动，化学能转化为电能。

燃料电池是利用电化学反应将燃料与氧化剂中的化学能直接转换成电能的装置。燃料电池由正极、负极和电解质组成，燃料在负极被氧化，氧化剂在正极被还原。电解质阻隔燃料和氧化剂，并可传导离子。常用的燃料有：氢、甲醇、甲烷等，常用的氧化剂有氧气、空气等。燃料电池利用电极中的催化剂将燃料和氧化剂解离成电子和离子，离子通过两个电极间的电解质传输，参与化学反应，而电子转移到外电路，产生电流。燃料电池具有以下特点：

(1) 能源转换效率高。燃料电池不受卡诺循环限制，其理论转化效率高达80%。但实际上，受工作时电极极化、催化剂失活等因素的影响，目前燃料电池的能量转化效率在40%~60%，而火力发电、核电的能量转化率只有30%左右。

(2) 环境友好。由于能量转换效率高，获取同等能量时， $\text{CO}_2$ 排放量比热机过程减少约40%以上，降低温室气体排放。燃料电池没有燃烧过程，几乎不会产生 $\text{SO}_2$ 和 $\text{NO}_x$ ，减少对大气污染。

(3) 噪声低。燃料电池是通过电化学反应发电，无需机械部件运动，因此工作噪声低，可用于需要静音的军事领域，如作为潜艇的动力来源。

燃料电池最常用的分类方式是按照电解质来分，电解质类型决定了燃料电池的运行方式：工作温度、电极催化剂、反应物类型等，大致可分为五类：碱性燃料电池、磷酸型燃料电池、质子交换膜燃料电池、熔融碳酸盐燃料电池以及固体氧化物燃料电池等。

## 参考文献

- [1] KUCHLIN A T. The Fenton reaction [J]. Biochemische Zeitschrift, 1933, 261: 411–424.
- [2] 沈建中，马林，赵滨，等. 普通化学实验 [M]. 上海：复旦大学出版社，2007.
- [3] 竺际舜. 无机化学习题精解：第3版 [M]. 北京：科学出版社，2019.
- [4] COTTON F A, WILKINSON G. 高等无机化学：下册 [M]. 北京：人民教育出版社，1981.
- [5] XU K. Nonaqueous liquid electrolytes for lithium-based rechargeable batteries [J]. Chemical Reviews, 2004, 104(10): 4303–4417.
- [6] 金若水，王韵华，芮承国. 现代化学原理：下册 [M]. 北京：高等教育出版社，2003.
- [7] JI L W, LIN Z, ALCOUTLABI M, et al. Recent developments in nanostructured anode materials for rechargeable lithium-ion batteries [J]. Energy & Environmental Science, 2011, 4(8): 2682–2699.

# 本章习题分析与答案

## 5.1 金属的性质

题号	知识点	答案(以及必要的解题思路提示)
1	铁的物理性质	B。生铁是铁矿石经热还原法冶炼而得的
2	钠的性质	C
3	铁、钠的化学性质	A。单质铁与氯气反应生成 $\text{FeCl}_3$
4	金属的性质与用途的关系	(1) 在空气中铝表面会生成一层致密的氧化膜，这层氧化膜不会脱落，起着保护内部金属的作用，使铝具有较好的耐腐蚀性 (2) 与铁、铜比较，钛的密度小，而且钛的强度最强，故钛可用来制造飞机 (3) 优点：铝的密度比钢小，车身会较轻；铝的强度比钢低，容易被塑造成型。缺点：铝的强度比钢低，抵抗外力破坏作用弱；铝价格比钢贵

## 5.2 重要的金属化合物

题号	知识点	答案(以及必要的解题思路提示)												
1	钠、氧化钠的性质	C												
2	$\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ 的性质	C												
3	$\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 的性质和用途	<table border="1"><tbody><tr><td>名称 (俗名)</td><td>碳酸钠(俗名：苏打、纯碱)</td><td>碳酸氢钠(俗名：小苏打)</td></tr><tr><td>物理性质</td><td>白色粉末，易溶于水，水溶液呈碱性</td><td>白色晶体，在水中的溶解度小于 <math>\text{Na}_2\text{CO}_3</math>，水溶液呈弱碱性</td></tr><tr><td>化学性质</td><td>受热难分解；能与盐酸反应</td><td>受热易分解；能与盐酸反应，比 <math>\text{Na}_2\text{CO}_3</math> 剧烈</td></tr><tr><td>用途</td><td>重要的化工原料，广泛应用于石油、纺织、冶金、建筑等领域</td><td>在制药中用作制酸剂，在食品工业中用作酸度调节剂、膨松剂等</td></tr></tbody></table>	名称 (俗名)	碳酸钠(俗名：苏打、纯碱)	碳酸氢钠(俗名：小苏打)	物理性质	白色粉末，易溶于水，水溶液呈碱性	白色晶体，在水中的溶解度小于 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ，水溶液呈弱碱性	化学性质	受热难分解；能与盐酸反应	受热易分解；能与盐酸反应，比 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 剧烈	用途	重要的化工原料，广泛应用于石油、纺织、冶金、建筑等领域	在制药中用作制酸剂，在食品工业中用作酸度调节剂、膨松剂等
名称 (俗名)	碳酸钠(俗名：苏打、纯碱)	碳酸氢钠(俗名：小苏打)												
物理性质	白色粉末，易溶于水，水溶液呈碱性	白色晶体，在水中的溶解度小于 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ，水溶液呈弱碱性												
化学性质	受热难分解；能与盐酸反应	受热易分解；能与盐酸反应，比 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 剧烈												
用途	重要的化工原料，广泛应用于石油、纺织、冶金、建筑等领域	在制药中用作制酸剂，在食品工业中用作酸度调节剂、膨松剂等												
4	铁的化合物在生活中的应用	(1) 铁在人体内以二价铁、三价铁形式存在。铁在人体生理活动中起着重要的作用，血红蛋白中存在着二价铁，是人体内氧的输送者 (2) 补血剂中的二价铁容易被氧化而失去作用，维生素 C 有较强还原性，可以防止二价铁被氧化 (3) 因为茶叶中含有大量鞣酸，鞣酸易与低价铁结合，形成不溶性鞣酸铁，从而阻碍了铁的吸收；牛奶中含钙和磷酸盐，可使铁发生反应生成沉淀，妨碍铁的吸收。因此，服用铁剂补血药不宜喝茶、饮奶。实验设计：将相同量的补血剂分别加入同体积的蒸馏水、茶叶水(绿茶或红茶)、牛奶中搅拌后静置，观察并记录实验现象												

### 5.3 化学变化中的能量变化

题号	知识点	答案(以及必要的解题思路提示)
1	原电池的原理	B
2	化学变化中的能量变化	(1) 冰为水的固态，相同质量的水和冰，水的能量高，冰转化为水吸热 (2) 蜡炬是有机化合物燃烧，成灰则说明其中有部分不可燃杂质，还有燃烧不完全产生的炭黑，这个过程是放热过程，诗句的后半句的“泪”是固体蜡烛高温下融化成的液体 (3) 经过千锤百凿得到的石灰石，经烈火焚烧而分解生成氧化钙和二氧化碳，这个过程是吸热过程
3	吸热反应和放热反应	物质的燃烧、酸碱中和反应、大多数的化合反应、物质的缓慢氧化、金属与酸的反应等是放热过程，如人类利用木炭燃烧放出的热取暖、利用铁缓慢氧化放热制成“暖宝宝”等等。大多数的分解反应、碳与二氧化碳的反应、大部分电解质的电离等是吸热过程，如工业上用煅烧石灰石制取生石灰，就是因为碳酸钙分解是吸热反应

### 本章复习

题号	知识点	答案(以及必要的解题思路提示)
1	铁的化学性质	D
2	过氧化钠的化学性质	C
3	反应的热效应与反应物、生成物能量相对高低之间的关系	D。图示中，反应物的总能量高于生成物的总能量，说明是放热反应，而碳酸氢钠受热分解是吸热反应
4	金属的性质、冶炼方法	金属在地壳中含量、金属的活泼性、金属的冶炼方法等多种因素影响了金属发现的时间
5	+3价铁盐的氧化性、+2价铁盐的还原性	(1) $2\text{Fe}^{3+} + \text{Cu} = 2\text{Fe}^{2+} + \text{Cu}^{2+}$ (2) 稀盐酸。固体中除了含有单质铜外，还有过量的铁粉，加入稀盐酸，可将单质铁转化为氯化亚铁 (3) 通入氯气。滤液的主要成分是氯化亚铁，通入氯气能再生为蚀刻液(氯化铁)

\*6. 译文如下：

因瓦合金是1896年由纪尧姆发明的一种合金，它的热膨胀系数很小，只有 $1.2 \times 10^{-6}$ 左右。自从因瓦合金被发明以来，还没有出现热膨胀系数比它更小的合金。在过去的6年中，我一直致力于研究热膨胀系数小的合金。1929年6月，我发现了一种热膨胀系数比石英玻璃还小的合金，它的组成中含有63.5%的铁、31.5%的镍，以及0.5%的钴。关于因瓦合金的热膨胀系数为什么这么小的原因，人们提出过很多种解释，但没有一种是站得住脚的。我也试着去解释这一现象，并且提出一种新的理论：因瓦合金的低膨胀系数可以通过电磁方面的特性来完美解释。根据这一理论，我开始研究铁钴铬三元合金的热膨胀，发现在钴含量超过50%的铁钴合金中加入少量的铬会显著降低其膨胀率。1931年7月，我发现了一种热膨胀系数远小于石英玻璃的合金，它的组成是36.5%的铁、54.5%的钴和9%的铬。常温下它的线性膨胀系数比退火状态下的 $10^{-7}$ 还小，另一个与之组成非常相似的合金的热膨胀系数甚至

为负数 $-1.2 \times 10^{-6}$ 。这些合金具有很强的抗腐蚀能力，抛光后的表面可以在潮湿的空气、水、海水等环境中保存数月，而不会出现任何锈斑；它们被称为“不朽因瓦合金”。

- (1) 你知道因瓦合金在日常生活和工业生产中有哪些用途吗？
- (2) 为什么合金在一些特质上比纯金属更优越？

# 第6章 化学反应速率和化学平衡

## 本 章 概 述

### ► 本章地位和内容结构

#### 一、本章地位

本章内容与社会生产、生活和科学的研究有着紧密的联系，化学反应速率与化学平衡知识对于化工生产工艺的设计与优化具有重要意义，构成了认识化学反应的重要理论基础。

本章旨在帮助学生从化学反应速率、化学平衡等理论角度认识化学反应的快慢、限度和调控，利用硫酸工业制法等生产工艺引导学生认识化学与生产、生活的密切联系。初中阶段学生对化学反应的快慢和进行程度具有初步的感性认识，本章通过实验探究活动和学生熟悉的反应实例分析，帮助学生建立化学反应速率和化学平衡等核心概念，以及认识化学反应速率和化学平衡移动的影响因素，为后续选择性必修阶段进一步从定量的角度深入学习化学反应速率、化学平衡移动以及化工生产工艺设计奠定基础。

#### 二、《课程标准》要求

本章内容与《课程标准》“课程内容”中“必修课程”的“主题3：物质结构基础与化学反应规律”“主题2：常见的无机物及其应用”直接对应，具体对应主题3的“化学反应的限度和快慢”“学生必做实验”，以及主题2的“非金属及其化合物”“物质性质及物质转化的价值”四个部分的内容。本章的具体内容要求和学业要求见表6-1。

表6-1 第6章内容要求和学业要求

内容要求		学业要求
化学反应的 限度和快慢	体会从限度和快慢两个方面去认识和调控化学反应的重要性。了解可逆反应的含义，知道可逆反应在一定条件下能达到化学平衡。知道化学反应平均速率的表示方法，通过实验探究影响化学反应速率的因素。认识化学变化是有条件的，学习运用变量控制方法研究化学反应，了解控制反应条件在生产和科学实验中的作用。	1. 能从化学反应限度和快慢的角度解释生产、生活中简单的化学现象。能描述化学平衡状态，判断化学反应是否达到平衡。 2. 能运用变量控制的方法探究影响化学反应速率的因素，能初步解释化学实验和化工生产中反应条件的选择问题。
非金属及其 化合物	结合真实情境中的应用实例或通过实验探究，了解硫及其重要化合物的主要性质，认识这些物质在生产中的应用和对生态环境的影响。	能从物质类别和元素价态变化的视角说明物质的转化路径。

内容要求		学业要求
物质性质及物质转化的价值	结合实例认识金属、非金属及其化合物的多样性，了解通过化学反应可以探索物质性质、实现物质转化，认识物质及其转化在促进社会文明进步、自然资源综合利用和环境保护中的重要价值。	能说明常见元素及其化合物的应用（如金属冶炼、合成氨等）对社会发展的价值、对环境的影响。能有意识运用所学的知识或寻求相关证据参与社会性议题的讨论（如酸雨和雾霾防治、水体保护、食品安全等）。
学生必做实验	化学反应速率的影响因素。	能运用变量控制的方法探究影响化学反应速率的因素，能初步解释化学实验和化工生产中反应条件的选择问题。

本章学习主要促进学生“宏观辨识与微观探析”“变化观念与平衡思想”“证据推理与模型认知”“科学探究与创新意识”和“科学态度与社会责任”等方面的化学学科核心素养的发展。本章的学科核心素养要求如下：

- 知道化学变化需要一定的条件并遵循一定规律；认识化学反应速率和限度；能从化学反应速率、化学平衡等角度，认识和调控化学反应。
- 运用变量控制、定量实验等方法研究化学反应，提出问题和假设、设计实验方案、组装实验仪器，与同学合作完成实验，客观地记录现象和数据，并基于现象和数据分析得出结论。
- 运用化学反应原理来讨论和解决与化工生产相关的实际问题，形成节约资源、保护环境的可持续发展意识。

### 三、教材内容结构

本章内容包括化学反应速率、化学平衡以及化工生产等知识。教材编写的内容结构如图 6-1 所示。

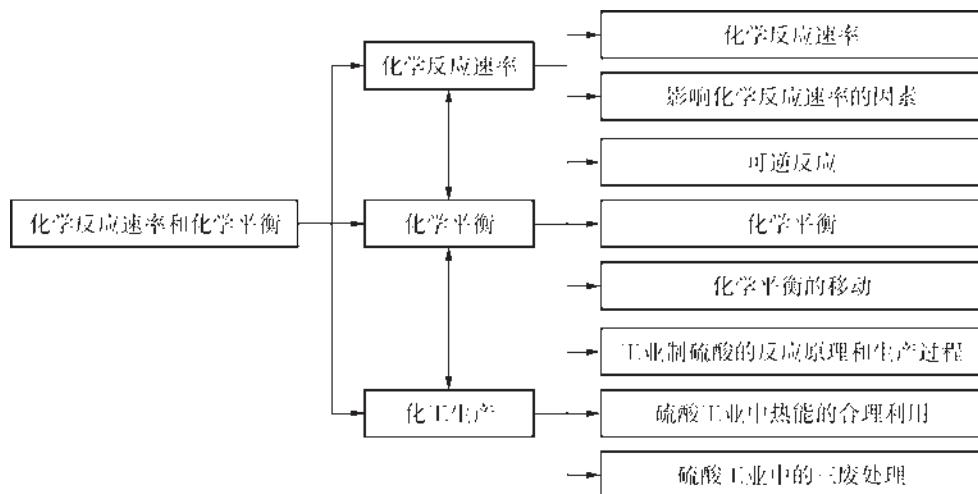


图 6-1 第 6 章内容结构

学生在之前的学习中已初步感知化学反应的快慢和进行程度，在此基础上，本章将进一步介绍化学反应速率和化学平衡的相关知识，引导学生了解影响化学反应速率和化学平衡的主要因素，以及如何对化学反应进行调控，认识化学反应原理对化工生产适宜条件选择的指导意义。

在化学反应速率部分，教材通过对学生熟悉的日常生活、工业生产中的化学反应的分析建立化学反应速率概念，并设计实验探究化学反应速率的影响因素及其调控；在化学平衡部分，教材利用已知的反应实例引入可逆反应和化学平衡概念，引导学生进行实验探究与现象观察，认识化学平衡的影响因素；在化工生产方面，教材结合具体的化工生产流程的分析、讨论，强化学生对化学知识与生产实践的联系的认识。

## ► 本章教学与课时建议

### 一、教学建议

本章的教学主要围绕三个问题展开：化学反应的快慢、限度和调控。教学的设计和开展要充分考虑问题自身的特点，化学反应的快慢和限度属于化学基本原理，而化学反应的调控则是原理的应用，要注重教学的方式、方法与内容特点相匹配。教学还应充分认识相关问题在《课程标准》中的内容要求和学业要求，依据《课程标准》的要求和学生原有的知识基础，针对不同问题实施分层次的要求，严格把控相关知识在必修课程的要求边界。

在“化学反应速率”的教学中，可从学生熟悉的反应实例引入，为学生打开认识化学反应的新视角——化学反应的快慢，通过设问促使学生对化学反应快慢的认识由定性向定量进阶。设计合适的实验探究情境，指导学生收集数据、建立模型，引导学生认识反应快慢的描述与“时间”因素密切相关，进而帮助学生建构化学反应速率的概念。在“影响化学反应速率的因素”的教学中，可以先组织学生尽可能多地列举生活中的反应实例，引导学生分析影响反应速率的因素主要有哪些；然后介绍控制变量的研究方法，让学生了解控制变量的原因和意义；再选择合适的反应体系进行实验探究，让学生在实验过程中学会“如何控制变量”，深化对影响化学反应速率的外界因素的理解，发展证据推理意识。

在“可逆反应”的教学中，可从学生已有的元素化合物知识出发，利用化学实验创设情境，或利用化工生产的真实数据作为事实证据，帮助学生形成对可逆反应概念的正确认识，理解可逆反应存在限度。在“化学平衡”的教学中，可选择学生熟悉的可逆反应作为情境，引导学生应用已学的影响化学反应速率的因素，结合数字化实验、动画模拟、图片展示等教学手段，分析化学平衡状态的建立过程，理解化学平衡状态的特征。在“化学平衡的移动”的教学中，可选择颜色的变化特征明显的可逆反应作为实验研究对象，采用控制变量法探究外界条件改变对化学平衡的影响。

在“工业制硫酸的反应原理和生产过程”的教学中，可从元素化合价和物质分类的视角，引导学生通过分析硫元素的转化掌握硫酸制备的反应原理；可提供相关素材，引导学生从多角度进行评估，权衡利弊，对原料的选择作出合理的决策。对于硫酸工业生产流程所涉及的设备、能量合理利用等问题，学生缺乏相关经历和体验，可通过动画、图片等多媒体信息，让学生获得体验感，帮助学生更好地内化相关内容，引导学生逐步形成节约成本、降低能耗的观念。在“硫酸工业中的三废处理”的教学中，可提供事实证据，评估“三废”对人类健康、社会可持续发展等多方面可能带来的影响，引导学生依据“绿色化学”思想运用所学知识提出处理或解决问题的具体方案，树立循环利用、保护环境的观念。在研究二氧化硫如何“既快又多”地转化为三氧化硫这一课题时，可指导学生根据反应的特点，运用

化学反应速率和化学平衡知识判断合适的反应条件，并与实际生产条件相比较，初步学会如何调控化学反应，形成理论联系实际的观念。

## 二、课时建议

6.1 化学反应速率	2 课时
6.2 化学平衡	2 课时
6.3 化工生产	2 课时
学生必做实验 化学反应速率的影响因素	1 课时

# 6.1 化学反应速率

## ▶ 教学目标

1. 认识化学反应有快慢，通过定量实验收集数据并用图、表等方式描述实验证据，学会基于现象和数据进行分析推理，建立化学反应速率的概念。
2. 认识化学变化的多样性和复杂性，能分析化学反应速率的主要影响因素，学习运用变量控制的方法探究影响化学反应速率的外界因素，初步解释化学实验中反应条件的选择问题，基于现象和数据进行分析并归纳总结出合理结论。
3. 能结合生产、生活实际问题情境，体会化学变化中调控反应速率的重要性，初步学会如何调控化学反应的速率。
4. 能对问题的解决提出可能的假设，依据假设设计实验方案、组装实验仪器，独立或合作完成实验操作，运用多种方式收集实验证据，基于实验事实得出结论，形成解决问题的一般思路。

## ▶ 教材解析

### 一、教材设计思路

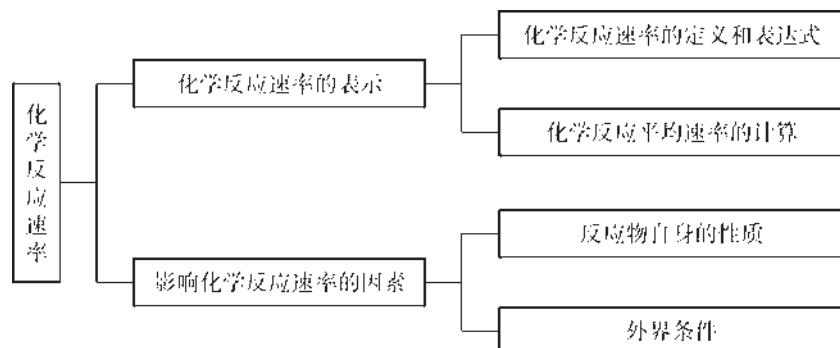
在第5章的学习中，学生形成了从能量变化角度认识化学反应的新视角。而本节内容基于学生已有的知识基础，引出认识化学反应的另一视角——化学反应的快慢。通过生产、生活实例，说明从快慢角度调控化学反应的重要性。从定量描述化学反应快慢的需要出发，引导学生建立化学反应速率的概念，再通过实验探究影响化学反应速率的因素，进而学会如何调控化学反应速率。

第一部分，教材以如何定量衡量化学反应的快慢引入，设计实验探究大理石与盐酸反应的快慢，引导学生收集实验数据，尝试建立变量关系函数。通过时间变量的引入，帮助学生建立化学反应速率的概念。实际上，“大理石与盐酸反应的速率”实验是贯穿整节的探究任务，该实验不仅引出化学反应速率，还承载着探究反应物颗粒大小对反应速率影响的任务，而在节末它又是学生运用所学知识调控反应速率的对象。

第二部分，教材选择学生熟悉的反应情境，引导学生认识化学反应速率与反应物自身性质密切相关，进而引出外界因素对同一反应的反应速率影响问题。“实验探究”设计了三个实验，分别探究浓度、温度和催化剂对反应速率的影响，给出了具体实验步骤，学生只需自主操作并观察、记录，经比较分析得出结论。实验后提出了“如何进行变量控制”的问题，一方面让学生认识什么是控制变量，进而思考为什么要控制变量；另一方面引导学生从实验过程学会如何控制变量，形成变量控制的一般思路。而“如何设计或改进实验定量测定上述化学反应速率”问题的提出，则要求学生运用变量控制方法自主设计实验方案。这种进阶式设计，有利于学生发展科学探究素养水平。“拓展视野”介绍了新型甲烷

转化催化剂，对学生拓展知识、开阔眼界、培养兴趣等方面都有积极的作用。教材还利用第46页“想一想”引导学生关注影响化学反应速率的其他一些因素，如光、超声波等。这种对反应速率各种不同影响因素的分层次处理，既突出重点，又照顾全面。“链接学科”介绍了化学动力学的新兴分支学科——飞秒化学和超快化学反应动力学的基本研究内容和重要成就，有助于学生更全面地认识化学学科，感悟化学的学科价值。

## 二、本节内容结构



### 三、教材分析

## 6.1 化学反应速率

我们知道各种化学反应进行得有快有慢。例如，酸碱中和反应瞬时就能完成，钢铁制品的生锈则是缓慢发生的，而石油更是需要历经上亿年才能形成。通过调控化学反应的快慢，可以减缓食物的腐败，可以提高化学工业的生产效率。因此，认识化学反应快慢的规律及影响因素，可以更好地满足工农业生产和日常生活的实际需要。

#### 学习聚焦

- 认识化学反应的快慢
- 知道化学反应平均速率的表示方法
- 认识影响化学反应速率的因素

#### 知识回放

- 速率
- 催化剂

### 化学反应速率

化学反应的“快”和“慢”是相对而言的，如何衡量化学反应进行的快慢？如何对化学反应的快慢做调控？在化学研究中，我们需要用一种定量的方法来描述化学反应的“快”和“慢”。下面，让我们从大理石与盐酸反应的快慢开始探究！

#### 实验探究



#### 大理石与盐酸反应的速率



引导学生对化学反应快慢的认识由定性向定量进阶。

“实验探究”：棉花的作用是：既防止因反应过快而导致部分溶液冲出锥形瓶，又除去二氧化碳携带的部分水蒸气，尽可能避免影响实验的测量精度。

- (1) 取一干燥的锥形瓶和棉花置于电子天平上称重，然后天平清零。
- (2) 量取适量的  $1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  稀盐酸置于锥形瓶中，读数记为  $m_1$  (精确到 0.001 g)。
- (3) 将质量为  $m_2$  的块状大理石加入锥形瓶，瓶口塞上棉花，反应混合物总质量记为  $m_{\text{总}}$ 。
- (4) 从固液混合后开始计时，每隔 10 s 记录反应混合物的总质量，直至反应结束，将数据记录在下表中。

质量/g	时间/s						
	0	10	20	30	40	.....	反应结束
$m_{\text{总}}$							

- (5) 请在坐标中画出反应混合物质量  $m_{\text{总}}$  随着时间变化的图像。

41



1. 在“化学反应速率”的教学中，不仅关注学生对具体知识的学习，更应注重引领他们确立从反应快慢的视角认识化学反应。
2. 教师在进行本节内容教学时，可选择学生熟悉的日常生活、工业生产的化学反应作为真实情境，引导学生认识从速率角度调控化学反应的重要性。
3. 实验探究中，要引导学生分析可能引起实验误差的因素，并尝试提出可行的解决措施，形成严谨求实的科学态度。



图 6.1 大理石与盐酸反应混合物质量随时间的变化

问题：在本实验中，你如何描述该化学反应的快慢？选用粉状大理石会对反应快慢产生怎样的影响？

化学中用化学反应速率来描述和表示反应的快慢。化学反应开始后，各种反应物的量不断地减少，生成物的量不断地增加，我们常用单位时间内反应物浓度的减少或生成物浓度的增加（均取正值）来定量地表示化学反应速率，其一般表达式为：

$$v = \frac{\Delta c}{\Delta t}$$

式中： $v$  表示化学反应速率， $\Delta t$  表示时间变化， $\Delta c$  表示在  $\Delta t$  这段时间某一反应物或生成物的物质的量浓度变化。浓度的单位一般用  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，时间的单位可选择  $\text{s}$ 、 $\text{min}$  等。因此化学反应速率的单位通常是  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  或  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  等。式中  $v$  表示  $\Delta t$  这段时间内化学反应的平均速率。

### 书写表达

反应  $A + 2B \rightarrow 3C + 2D$  在溶液中进行，反应物 A 的起始浓度是  $1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，经过 1 min 后，A 的浓度变成了  $0.8 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，则在这 1 min 内  $v(A)$  是多少？ $v(A)$  可以代表该化学反应全程的速率吗？

改变固体反应物的颗粒大小，进行实验，得出结论，为后面归纳外界因素对化学反应速率的影响做好铺垫。

常见反应体系为气体和溶液，故选择单位时间内反应物或生成物浓度变化量来表示化学反应速率。

“书写表达”：通过设问，引导学生认识到必修课程中根据速率表达式计算所得的是一段时间内的平均速率。



1. 实验探究中，指导学生将收集的实验数据，转换为质量随时间变化的关系图，学会建立变量关系函数。
2. 在“化学反应速率”的概念教学中，要引导学生关注时间变量的引入，可以类比学生已有的运动学上的速率概念进行建构。

## 影响化学反应速率的因素

化学反应速率跟许多因素有关。如图 6.2 所示，在相同条件下，同时将锌片和铜片分别插入相同浓度的硝酸银溶液中，经过一段相同的时间后观察到：锌与硝酸银反应产生的银比铜与硝酸银反应产生的银更多，说明这两个化学反应的速率不同，表明化学反应速率与反应物自身的性质有关。

除此之外，相同的反应在不同的条件下也会有不同的反应速率，说明外界条件对化学反应速率会产生一定的影响。下面通过实验来探究影响化学反应速率的外界因素。

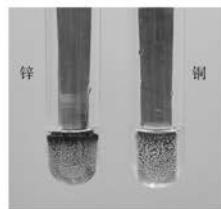


图 6.2 锌、铜分别与硝酸银溶液反应

### 实验探究



### 影响化学反应速率的因素



“实验探究”：

1. 试管浸在水浴中，尽可能降低反应放热导致的温度变化的影响，体现了变量控制的思想。

2. 反应体系的选择  
主要考虑以下两点：其一是有明显的实验现象；其二是反应快慢适中，方便观察和记录。

#### 1. 浓度对化学反应速率的影响

取两支 Y 形试管，各在一侧支管中分别放入 1 根长约 2 cm 去除了氧化膜的镁带，然后在另一侧支管中分别加入 4 mL 0.1 mol · L<sup>-1</sup>、4 mL 0.5 mol · L<sup>-1</sup> 的盐酸，连上压强传感器，如图 6.3 所示。点击采集按钮后，将两支 Y 形试管同时倾斜，使盐酸接触镁带并使试管浸在水浴中，观察显示器上采集到的压强数据的变化。

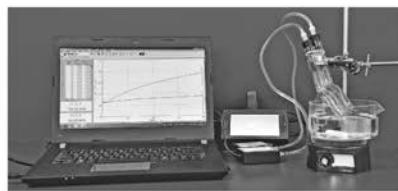


图 6.3 不同浓度盐酸与镁反应的实验装置

#### 2. 温度对化学反应速率的影响

分别量取 30 mL 0.1 mol · L<sup>-1</sup> Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 溶液加入两支大试管，将一支浸入热水浴中，另一支浸入冰水浴中。再分别量取 15 mL 0.1 mol · L<sup>-1</sup> 盐酸加入另外两支大试管，将两支大试管分别放入上述两个水浴中，如图 6.4 (a) 所示。静置达到水浴温度。

取两只烧杯，在杯侧面贴上写有“X”的纸，分别将上述同一温度下的两支试管中的溶液倒入烧杯并开始计时，直到杯侧面“X”看不清时，如图 6.4 (b) 所示。停止计时，记录时间。反应的化学方程式是：



43



- 探究影响化学反应速率的因素时，可以通过合理的设问引导学生从内因、外因的不同视角认识影响因素的多样性，培养学生从多角度分析事物及其变化的思维习惯。
- 实验探究中，组织学生对实验方案进行交流、评价，引导学生提炼变量控制思想的要点，形成“发现变量→研究变量→控制变量”的研究思路。
- 设计实验探究影响化学反应速率的因素时，可以合理地融入数字化技术，拓宽反应体系的选择面。



图 6.4 不同温度下硫代硫酸钠与盐酸的反应

## 3. 催化剂对化学反应速率的影响

在两支试管中分别加入 3 mL 3% 的  $\text{H}_2\text{O}_2$  溶液，向其中一支试管加入少量固体二氧化锰，观察两支试管中产生氧气的情况。

将上述实验现象和实验结论填入下表中。

影响化学反应速率的因素	现象记录	实验结论
浓度		
温度		
催化剂		

问题：上述实验是如何进行变量控制的？是如何反映速率大小的？如果要定量测定上述化学反应速率，你会怎样设计或改进实验？

要求学生在已有定性分析实验方案的基础上，依据假设设计或改进成定量测定实验方案，促进学生实验设计能力的进阶式发展。



对于有气态物质参加的反应，压强对反应速率有何影响？参考图 6.5 并联系浓度对反应速率的影响进行预测和解释。

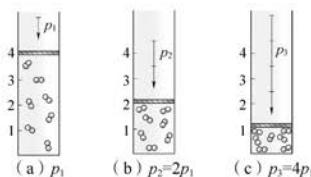


图 6.5 压强对气体浓度影响示意图

“想一想”：通过微观图示，引导学生从浓度的角度探究压强对反应速率的影响。



1. 进行“定量测定化学反应速率”实验设计教学时，可以组织学生以小组为单位设计实验方案，然后通过小组互评、教师点评的方式，完成实验方案的评价，最后各小组根据意见完成方案的优化。
2. 探究压强对化学反应速率的影响时，应注意适用对象是有气态物质参加的反应，而且压强的改变是通过改变容器的体积实现的，其实质是改变了气态反应物的浓度。

## 拓展视野

## 新型甲烷转化催化剂

天然气是一种重要的化石能源，随着探明储量和开采量的不断提升，天然气已成为极具经济价值的自然资源之一。如果能对天然气进行直接的化学转化，那么不仅可以实现天然气的高附加值利用，而且还能避免天然气运输带来的高额费用等问题。然而，对天然气进行直接转化并非易事。天然气中的主要成分是甲烷，而甲烷性质稳定很难被转化。科学家发现了成本低廉、转化高效的催化剂组合——铁硅催化剂，将甲烷转化成乙烯和芳香化合物。这一催化剂的开发和研制，为人类充分利用甲烷提供了解决方案，在医药、农业化学品和精细化工等行业中具有广泛应用前景。

对上述探究结论进行整理，归纳和总结外界因素对化学反应速率的影响，完成下表。

探究固体反应物颗粒大小对化学反应速率的影响，是在“大理石与盐酸反应的速率”的实验探究中完成的。

引导学生利用新学的知识，以教材第41页“实验探究”中大理石与盐酸的反应为研究对象，列举调控反应速率的方法。

反应条件改变		反应速率的变化 (在□内画“√”)
颗粒大小	反应物(固体)颗粒变大	<input type="checkbox"/> 增大 <input type="checkbox"/> 减小 <input type="checkbox"/> 不影响
	反应物(固体)颗粒变小	<input type="checkbox"/> 增大 <input type="checkbox"/> 减小 <input type="checkbox"/> 不影响
浓度	增大反应物浓度	<input type="checkbox"/> 增大 <input type="checkbox"/> 减小 <input type="checkbox"/> 不影响
	减小反应物浓度	<input type="checkbox"/> 增大 <input type="checkbox"/> 减小 <input type="checkbox"/> 不影响
温度	升高温度	<input type="checkbox"/> 增大 <input type="checkbox"/> 减小 <input type="checkbox"/> 不影响
	降低温度	<input type="checkbox"/> 增大 <input type="checkbox"/> 减小 <input type="checkbox"/> 不影响
压强 (有气态物质参与的反应)	增大压强	<input type="checkbox"/> 增大 <input type="checkbox"/> 减小 <input type="checkbox"/> 不影响
	减小压强	<input type="checkbox"/> 增大 <input type="checkbox"/> 减小 <input type="checkbox"/> 不影响
催化剂		<input type="checkbox"/> 增大 <input type="checkbox"/> 减小 <input type="checkbox"/> 不影响

总之，反应物颗粒大小、浓度、温度、催化剂、压强等外界因素都可能对化学反应速率产生影响。现在，你能列举出调控大理石与盐酸反应速率的方法了吗？

45



- 把握教学的深度，只要求学生根据已有的学习经验和实验探究认识外界条件的改变会对反应速率产生的影响，不要求从理论上分析原因。
- 结合学生已有知识，补充一些生活、生产中需要通过改变反应条件调控反应速率的实例，引导学生运用所学知识，根据实际需要对反应速率进行调控。

## 想一想

?

还有一些条件也会影响化学反应速率，如光、超声波、激光、放射线、扩散速率和溶剂等。你能从学过的化学知识或相关资料中举出例子来吗？针对图 6.6 的实例，说明人们通常会如何调控相关反应速率。



图 6.6 外界条件对化学反应速率的影响

“想一想”：列举了影响化学反应速率的其他一些因素，可举例进行说明，如光照能使过氧化氢分解速率增大、超声波能加快酸性条件下碘酸钾与亚硫酸钠反应的速率等，引导学生进一步加深对这些因素的认识。

## 链接学科

## 飞秒化学和超快化学反应动力学

在宏观层面上，化学反应速率表现得有快有慢。在微观层面上，反应中化学键的断裂与形成总是很快的，其时间大约在皮秒（ps,  $1 \text{ ps} = 10^{-12} \text{ s}$ ）至飞秒（fs,  $1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}$ ）量级。观察和研究如此快速的反应过程中分子内部状态和结构的变化，需要使用比化学键断裂、分子内部振动等更快速的探测工具。这些正是飞秒化学和超快化学反应动力学的基本研究内容。

光的传播速度是  $3 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，在 1 fs 时间里，光只能走  $0.3 \mu\text{m}$ 。美国、埃及双重国籍物理化学家泽韦尔（Ahmed Zewail, 1946—2016）利用光程差来达到飞秒级的时间分辨，他用飞秒激光泵探测技术，观测了氯化碘的光分解反应。这是人们通过实验首次观察到了基元反应过程，大大推进了人类对化学反应微观过程的认识，泽韦尔也因此荣获了 1999 年诺贝尔化学奖。



教学中，针对各种不同的影响因素，应提出不同层次的要求。例如：研究浓度、温度、压强和颗粒大小等因素时，应要求学生能判断这些因素变化时，化学反应速率相应如何变化；而对于光、超声波、放射线等其他因素，则只需学生认识到这些因素会影响化学反应速率。

## 6.2 化学平衡

### ▶ 教学目标

1. 了解可逆反应的含义，结合实例认识可逆反应存在限度，体会从限度调控化学反应的重要性。
2. 运用宏观、微观、符号等方式描述化学平衡建立的过程，理解化学平衡状态的特征，认识到化学平衡是相对的，学会判断化学反应是否达到平衡，增强证据推理意识。
3. 通过实验探究外界条件的改变对化学平衡的影响，培养运用变量控制方法设计实验方案的能力。

### ▶ 教材解析

#### 一、教材设计思路

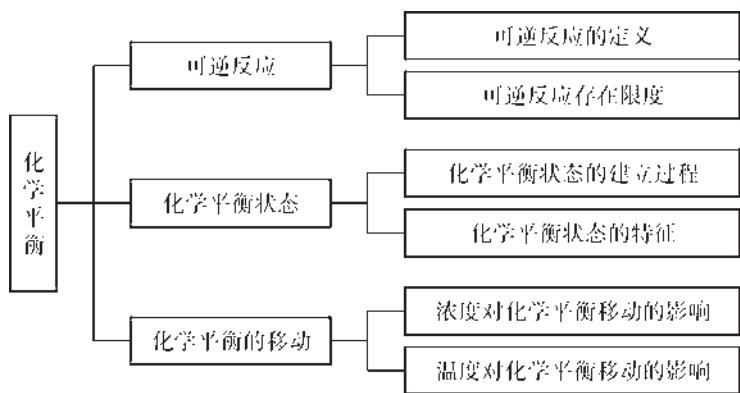
在前一节学习中，学生建立了从快慢认识化学反应的视角。本节内容则从学生已知的反应实例引入，使学生对化学反应的认识角度聚焦于反应限度，进而引导学生建立化学平衡的概念，理解化学平衡状态的特征，再通过实验探究外界条件对化学平衡的影响，认识化学平衡状态是可以改变的。

第一部分，教材从第2章学过的氯气与水的反应引入，通过实证推理，得到该反应不能进行到底的特点，引导学生建立可逆反应的概念，进而认识到可逆反应是有一定限度的，体会从限度的角度认识和调控化学反应的重要性。

第二部分，以工业合成氨的反应为实例，通过分析反应过程中浓度变化对正、逆反应速率的影响，再结合微观模型，引导学生认识化学平衡状态及其建立过程。教材通过图6.7(c)(d)和图6.8提供的信息，能有效地引导学生深刻理解化学平衡状态的特征，进而学会判断可逆反应是否达到平衡。

第三部分，教材以第5章第2节中学过的 $\text{Fe}^{3+}$ 和 $\text{SCN}^-$ 反应体系作为实验探究的对象，通过控制变量研究浓度改变对化学平衡的影响。“想一想”选择了 $\text{NO}_2$ 和 $\text{N}_2\text{O}_4$ 相互转化的反应体系作为研究对象，该反应体系比较典型但学生尚未学过，故只要求学生根据已知的反应现象信息，分析归纳温度改变对化学平衡的影响。这些探究，能帮助学生认识到化学平衡是相对的，化学平衡状态是可以改变的。

## 二、本节内容结构



### 三、教材分析

## 6.2

# 化学平衡

回顾已有知识，建构可逆反应的概念，认识可逆反应存在限度。需要指出的是，这里的可逆反应，不是热力学概念，热力学假定所有化学反应都是可逆的。

#### 学习聚焦

- 认识化学反应的限度
- 了解可逆反应的含义
- 描述化学平衡状态
- 判断化学反应是否达到平衡

#### 知识回放

- 氯气与水反应
- 合成氨反应

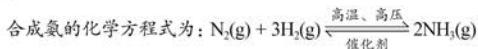
在科学的研究和化工生产中，只关注化学反应速率是不够的，还需要考虑化学反应进行的程度。化学反应中，反应物能否完全转化为生成物？为什么有的化学反应不能进行完全？化学反应的程度又跟什么因素有关？

## 可逆反应

在一定条件下，如果反应物能够完全转化为生成物，且只能向一个方向进行的反应，我们称之为不可逆反应。但是，在某些化学反应中，反应物不能完全转化，如在第2章学过的氯气与水的反应， $\text{Cl}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$  反应生成  $\text{HCl}$  和  $\text{HClO}$ ，同时  $\text{HCl}$  和  $\text{HClO}$  又会反应生成  $\text{Cl}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ 。在相同条件下，正、逆两个方向均可进行的反应，我们称为可逆反应。可逆反应用“ $\rightleftharpoons$ ”符号来表示双向的反应同时进行。通常我们认为向生成物方向进行的反应方向是正反应方向，另一个反应方向就是逆反应方向。



?



正反应开始的标志是什么？在反应的起始阶段，正、逆反应速率的大小关系如何？当外界条件维持不变，正反应速率和逆反应速率最终会趋向什么结果？

## 化学平衡

在合成氨中，向反应容器内加入原料  $\text{N}_2$  和  $\text{H}_2$  [图 6.7 (a)]，开始反应。此时发生的化学反应为： $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{NH}_3(\text{g})$  [图 6.7 (b)]；随着反应进行，开始有  $\text{NH}_3$  生成，此时反应  $2\text{NH}_3(\text{g}) \longrightarrow \text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g})$  发生，由于生成的  $\text{NH}_3$  浓度很小，所以该反应初始阶段的逆反应速率很小。随着反应进行， $\text{N}_2$  和  $\text{H}_2$  的浓度减小， $\text{NH}_3$  的浓度增大。因此正反应速率逐渐减小、逆反应速率逐渐增大。

50



1. 在“化学平衡”的教学中，不仅关注学生对具体知识的学习，更应注重引领他们确立从反应限度的新视角认识化学反应。
2. 在“可逆反应”的概念教学中，应充分关注学生在概念形成过程中可能出现的“单向停止”或“单向折返”等错误认识，通过创设反应情境，提供事实证据，引导学生实现认识转变。

当到达某一时刻，正反应速率与逆反应速率相等，此时  $\text{N}_2$ 、 $\text{H}_2$  和  $\text{NH}_3$  的浓度不再随时间变化而变化 [图 6.7 (c) (d)]。

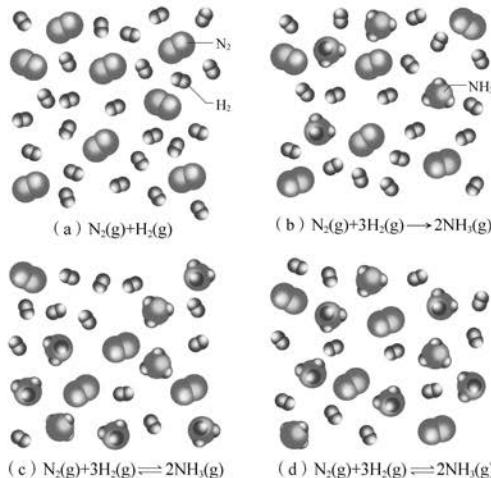


图 6.7 一定条件下  $\text{N}_2$  和  $\text{H}_2$  反应并逐渐达到化学平衡

如果外界条件不发生变化，任何可逆反应进行到一定程度时，正反应和逆反应的反应速率相等，这时反应混合物中各组分的含量保持不变，反应就达到化学平衡状态。化学平衡状态就是可逆反应在该条件下所能进行的最大程度。

当化学反应达到平衡时，反应混合物中各组分的含量不再随时间发生变化，但从微观看，正反应和逆反应都仍在继续进行，只是两者的速率相等，即某种物质的消耗速率和生成速率相等，因此，化学平衡是一种动态平衡。

图 6.7 (c) 和 (d) 表示的微观模型，不仅说明此时体系中各物质浓度保持不变，还说明反应并未停止，而是仍在沿正逆反应两个方向以相同速率进行。

结合微观模型、宏观速率变化图示等方式，从多角度表征化学平衡状态的特征。

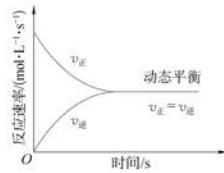


图 6.8 可逆反应速率随时间变化示意图

### 化学平衡的移动

当可逆反应达到化学平衡状态后，若反应条件（如浓度、温度等）改变了，原来的平衡状态就会被打破，正、逆反应的速率不再相等，平衡混合物里各组成物质的含量也就随之改变直至达到新的平衡状态，这个过程叫做化学平衡的移动。



### 贴士

- 与化学反应速率相比，化学平衡概念比较抽象，学生缺乏相关生活经历。可先从理解化学反应存在限度开始，再基于工业生产的真实情境，运用已学知识分析化学平衡状态的建立过程，那么学生对化学平衡状态特征的理解自然水到渠成。这种分步骤、有层次的教学方式，符合学生认知发展规律，有助于突破化学平衡这个教学难点。
- 合理运用动画、图像、数据等工具，创设反应情境，帮助学生认识化学平衡是如何建立的，理解化学平衡状态的特征。
- 运用“宏观—微观—符号”三重表征模型表示可逆反应化学平衡状态建立的过程，能够将抽象的反应过程具象化，有助于化解这个教学难点。

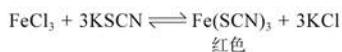
## 实验探究



## 化学平衡的移动



取一支大试管，加入3mL 0.02 mol·L<sup>-1</sup> FeCl<sub>3</sub>溶液，再加入18mL 0.01 mol·L<sup>-1</sup> KSCN溶液振荡均匀。发生反应的化学方程式为：



“实验探究”：

1号试管加入4mL混合液作为对照，这个体积的选择体现了变量控制思想。

探究4号试管上层液体颜色变浅的原因，丰富了外界因素变化的多样性，有利于引导学生从增大和减小反应物浓度这样两个不同的角度全面思考化学平衡的移动。

另取4支试管，向1号试管中加入约4mL上述混合液，向2号、3号、4号试管中加入约3mL上述混合溶液〔图6.9(a)〕。再向2号、3号、4号试管中分别加入1mol·L<sup>-1</sup> KSCN溶液、1mol·L<sup>-1</sup> FeCl<sub>3</sub>溶液和1mol·L<sup>-1</sup> NaOH溶液各1mL，对比溶液颜色的变化，如图6.9(b)所示。

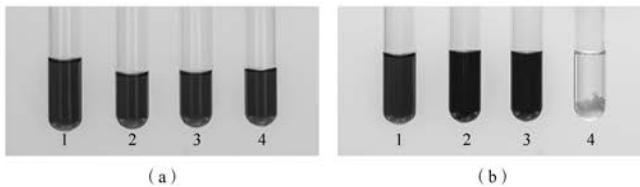


图6.9 化学平衡的移动

现象记录：\_\_\_\_\_。

实验结论：\_\_\_\_\_。

问题：你能分析4号试管放置后上层液体颜色变浅的原因吗？

实验表明，该反应是可逆反应，存在化学平衡的移动。2号试管中反应混合液的颜色加深了，说明c(KSCN)增大，KSCN和FeCl<sub>3</sub>结合生成更多的Fe(SCN)<sub>3</sub>，平衡向正反应方向移动。在3号试管中加入FeCl<sub>3</sub>后使c(FeCl<sub>3</sub>)增大，反应混合液颜色加深，说明c[Fe(SCN)<sub>3</sub>]增大，FeCl<sub>3</sub>和KSCN结合生成更多的Fe(SCN)<sub>3</sub>，平衡向正反应方向移动。

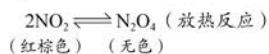
由此可见，由于反应物的浓度改变，原有的化学平衡被打破，并朝着减弱这种改变的方向移动，从而在新条件下建立起新的平衡。



1. 实验探究中，可合理选用色度传感器，一方面可以降低对试剂浓度的要求，另一方面也降低了对学生颜色辨识能力的要求，从而减少其他因素对化学平衡移动探究的干扰。
2. 控制教学的要求，对于“朝着减弱这种改变的方向移动”不宜再做延伸，只要求认识浓度改变后平衡移动的方向，不要求比较再达平衡时浓度与原平衡浓度的大小。

## 想一想

在一个封闭的双球玻璃容器里盛有 $\text{NO}_2$ 和 $\text{N}_2\text{O}_4$ 混合气体。将玻璃容器一端的小球浸入热水中，另一端的小球浸入冰水中，如图6.10所示。



实验发现，混合气体受热颜色变深，说明 $\text{NO}_2$ 浓度增大；混合气体冷却后，颜色变浅，说明 $\text{NO}_2$ 浓度减小。

升温后化学平衡向哪个方向移动？你能总结温度对化学平衡移动的影响吗？

总结和归纳浓度、温度对化学平衡移动的影响，完成下表。



图 6.10 化学平衡的移动

“想一想”：通过创设实验情境，使学生认识到温度改变也会使化学平衡发生移动，从而归纳温度对化学平衡移动方向的影响。表格中仅要求浓度、温度两种条件，教师不宜再拓展其他条件。

反应条件改变		化学平衡移动方向
浓度	增大反应物浓度（或减小生成物浓度）	
	减小反应物浓度（或增大生成物浓度）	
温度	升高温度	
	降低温度	

人们通过大量的实验和研究，认识到化学平衡是在一定条件下才能保持暂时的、相对的平衡。浓度、温度等条件是影响化学平衡的因素，如果这些条件发生改变，化学平衡就会发生移动。

### 学习指南

#### 例题导引

- 问题：
- 牙齿表面被一层坚硬的名叫羟基磷酸钙的物质保护着，该物质的组成为 $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ 。它在唾液中存在下列平衡：

学生只需认识到维系化学平衡需要一定条件，化学平衡是相对的，条件改变，化学平衡可能就会发生移动，不要求从理论上分析化学平衡移动的原因。

### 贴士

- 教学中要体会教材将浓度、温度作为维持化学平衡的条件来探讨，是为了增强学生对化学平衡相关概念的理解，而非简单地拓宽知识和拔高要求。
- 实验探究中，教师需要引导学生不仅关注实验现象本身，更要认识到实验结果是反映平衡移动的证据。
- 可利用化学史创设情境，让学生了解科学家探索化学平衡的历程，体会科学的研究方法，感悟科学研究是曲折前行的。

## 6.3 化工生产

### ▶ 教学目标

1. 能从物质类别、硫元素的价态角度，依据复分解反应和氧化还原反应原理，设计从原料到产品的含硫物质转化路径。
2. 通过对比分析工业制硫酸的多种方法，能对实际生产过程中物质变化方案进行选择和评价。
3. 能运用化学反应速率和化学平衡来讨论和解决硫酸工业中的实际问题，体会化学对社会发展的价值。
4. 通过对硫酸的生产过程、硫酸工业中的“三废”处理等内容的学习，逐步形成节约成本、循环利用、保护环境等可持续发展意识和观念。

### ▶ 教材解析

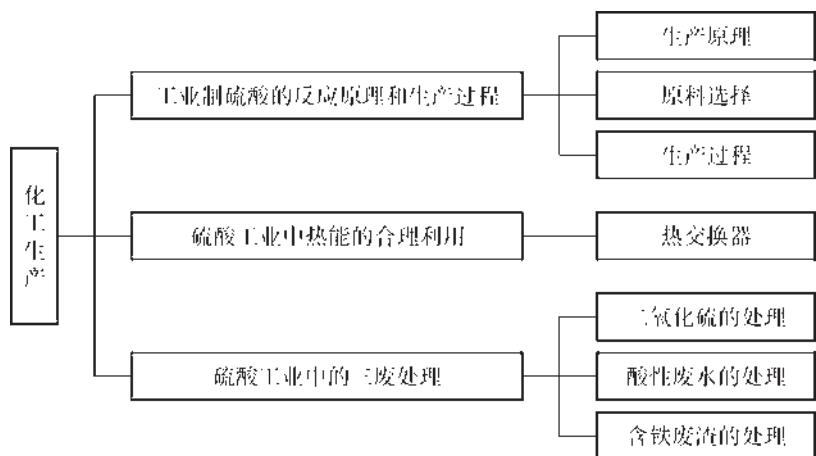
#### 一、教材设计思路

化工生产是化学在社会中的重要应用，也和社会上所面临的环境问题、能源问题、安全问题等密不可分。本节应用硫酸工业的生产情境，以“硫酸在工业生产上的重要用途—反应原理的确定—原料的选择—生产过程中反应条件的控制—能量的利用—工业‘三废’处理”为线索展开教学内容，将学生所学的硫及其化合物的转化、化学反应速率及其影响因素、化学平衡等化学基础知识和基本原理与生产实际建立联系，促进学生认识化学与技术合理使用的重要性，树立“绿色化学”的观念，形成资源全面节约、物能循环利用的意识。

第一部分“工业制硫酸的反应原理和生产过程”中关于反应原理的确定，教材从硫酸的组成、硫酸中硫元素的化合价等角度进行分析，以“想一想”“书写表达”引导学生思考讨论，突出化学在物质转化和利用方面的重要性；关于反应原料的选择，教材从原料成本、所需反应条件、废渣和尾气处理、物质与能量的循环利用等多种因素综合考虑，让学生学会辩证地看待资源使用的利弊、主动考虑其对环境和社会带来的影响，学会运用“绿色化学”思想分析化工生产相关问题；关于生产过程中反应条件的控制问题，教材以“想一想”引导学生利用化学反应速率和化学平衡讨论可以促使二氧化硫既快又尽可能多地转化成三氧化硫的反应条件，突出化学原理对化工生产的指导意义和作用。

第二部分“硫酸工业中热能的合理利用”和第三部分“硫酸工业中的三废处理”，旨在引导学生运用所学的化学知识和方法，解决硫酸工业中的能量利用、“三废”处理等问题，培养学生节约资源、保护环境的可持续发展意识和观念。

## 二、本节内容结构



### 三、教材分析

## 6.3 化工生产

#### 学习聚焦

- 了解工业制硫酸
- 了解反应条件控制在生产中的应用
- 树立节约资源、保护环境的可持续发展意识

人类的生活离不开化工产品。化工产品的生产涉及反应原理、物料选择、能源消耗、工艺流程、环境保护等许多问题。本节我们主要以工业制硫酸为例，认识化工生产中的共性问题，进而感悟化学与技术、社会和环境之间的紧密联系。

#### 工业制硫酸的反应原理和生产过程

##### 知识回放

- 放热反应
- 硫及其化合物的性质
- 化学反应速率
- 化学平衡

硫酸是最重要的化工产品之一，2020年我国硫酸的产量就高达 $9.2 \times 10^7 \text{ t}$ <sup>①</sup>。硫酸主要用于化肥工业，用来制造过磷酸钙、硫酸铵和磷酸等。钢铁工业中需用硫酸进行酸洗。硫酸和氟化钙（CaF<sub>2</sub>）反应生成的氟化氢，是现代氟工业的基础。总之，化工、石化、轻工、纺织、有色冶金、钢铁等行业都需要用到硫酸。



2

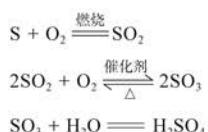
从H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>的组成、H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>中S的化合价等角度分析，你会选择哪些原料，并通过怎样的反应步骤来得到H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>？

##### 1. 反应原理

工业上制硫酸的方法有多种，若以硫黄、硫铁矿为原料制硫酸，其反应原理是：燃烧硫黄或硫铁矿（主要成分为FeS<sub>2</sub>）等原料来制备二氧化硫，使二氧化硫在适当的温度和催化剂的作用下氧化生成三氧化硫，再使三氧化硫转化为硫酸。上述过程中涉及的三个主要反应均为放热反应。



图 6.11 硫铁矿



① 数据来源：《2021中国统计年鉴》（中华人民共和国国家统计局编）。



1. 教学中可以设计学习任务：查阅资料、列举说明硫酸在工业生产上的重要作用，通过调查研究让学生体会化学在生产、生活中的应用价值。
2. 在学生归纳总结出硫酸工业生产过程通常可以分为造气、转化、吸收三个主要阶段后，建议播放硫酸厂真实的制备过程视频，让学生感悟化学理论与实际生产的区别与联系，感受工业制备要考虑降低成本、能源消耗、减少污染等因素。

根据工业制硫酸的反应原理，生产过程通常可以分为造气、转化、吸收三个主要阶段。

### 书写表达

若以硫铁矿为原料制硫酸，你能用化学方程式表示制硫酸的反应原理吗？

#### 2. 原料选择

工业制硫酸的主要原料有硫黄、硫铁矿、冶炼烟气、硫化氢以及工业废气等。在工业生产中，除根据反应原理选择原料外，还要综合考虑许多因素，如原料、能源、设备、工艺流程、储存运输、环境保护以及经济效益等。

以硫铁矿为原料制硫酸，生产中会产生“三废”（废气、废液、废渣），存在治理成本大、能耗高、硫资源利用率低等问题。近年来，我国以硫铁矿制硫酸的产量占硫酸总产量的比例不断下降。

硫黄是生产硫酸的优质原料。相较于硫铁矿制硫酸，硫黄制酸具有生产流程短、“三废”的治理量小等优势。我国的天然硫资源不多，可以通过回收石油炼制、天然气净化、高硫煤加工过程中的硫黄，提高硫资源的自给率和利用率。

冶炼烟气是冶炼有色金属时产生的，特别是冶炼金属硫化矿后烟气中含有二氧化硫，过去直接向大气中排放，既浪费资源又污染环境，现在用来生产硫酸，可以变废为宝。有色金属工业的发展也直接带动了冶炼烟气制酸的发展，目前我国冶炼烟气制酸的比例正稳步提高。

#### 3. 生产过程

由于化学反应中原子守恒，这就形成了化工生产的物料平衡。使原料尽可能多地转化为产品，是生产中提高产量、控制成本、增加效益的关键。

与原料硫黄相比，冶炼烟气的组成比较复杂，含有矿尘、氟、砷、水分等有害成分，这些有害成分对制酸过程的转化、吸收等阶段会产生不利影响。因此，在进行转化（即催化氧化）之前，必须通过除尘、干燥等净化设备来除去这些物质，为后续生产提供洁净烟气。例如，矿尘、氟、

“书写表达”：学生对硫铁矿（主要成分为 $\text{FeS}_2$ ）是比较陌生的，教师可以帮助学生分析 $\text{FeS}_2$ 中铁的化合价以及硫的氧化产物，要求学生利用氧化还原知识推测还原产物，从而写出造气的化学方程式，不要求学生完成化学方程式的配平。

从原料尽可能多地转化为产品、反应速率更快、充分利用原料和能源等角度进一步完善硫酸工业流程图，如补充反应条件的选择。



教学中组织学生用表格的形式从原料来源、硫资源的利用率、能耗、“三废”治理等方面综合、辩证地分析各种制备方法的利弊。

砷等都会使催化剂性能降低甚至失去催化作用，这种现象叫做催化剂中毒；水分对设备和生产也有不利影响。

## 拓展视野

“拓展视野”：在“硫酸生产过程”的教学中，教师不要随意拔高教学要求，如工业制硫酸的设备（沸腾炉、接触室、吸收塔）的名称、构造等都不要求学生掌握。

可用实物模型、动态模拟视频等代替图6.12和图6.13，提高学生的感知效果。

## 沸腾炉

硫铁矿制硫酸的第一步反应是通过煅烧硫铁矿得到二氧化硫，矿石粉会被放在特殊设计的设备中进行煅烧。

矿石粉燃烧的时候，从炉底通入强大的空气流，使矿粉流态化而形成沸腾状，在这种沸腾状况下矿石粉跟空气充分接触，燃烧迅速且充分，提高了原料的利用率，因此人们把这种设备叫做沸腾炉（图6.12）。

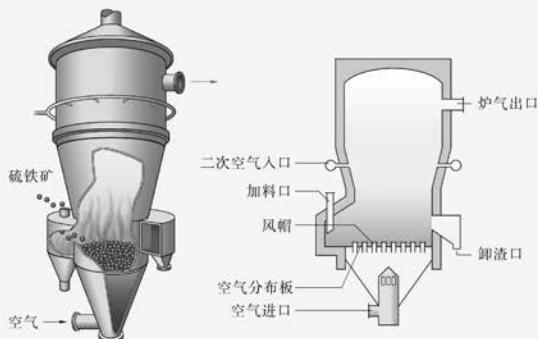


图6.12 在沸腾炉中煅烧硫铁矿的示意图

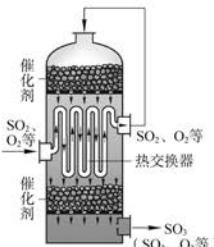


图6.13 二氧化硫在转化器中的多段催化氧化示意图

转化阶段是硫酸生产的核心，转化率高，则硫的利用率高，对环境的影响小。经过净化处理的混合气体主要含有二氧化硫、氧气和氮气。二氧化硫氧化成三氧化硫是一个可逆反应，这步反应是在转化器里进行的（图6.13）。反应时使用五氧化二钒作催化剂，在475℃时的化学反应速率比不用催化剂时提高了 $1.6 \times 10^8$ 倍。



教学中引导学生运用化学反应速率知识，思考并分析硫酸工业中的实际问题：为什么要粉碎硫铁矿石？沸腾炉中为什么空气从炉底通入，而铁矿石从上面加入？进入转化器的气体为什么要经过净化处理？转化器中反应温度为什么控制在475℃左右？



?

1. 在学习了化学反应速率和化学平衡知识后，你认为哪些反应条件可以促使二氧化硫既快又尽可能多地转化成三氧化硫？你的判断与实际生产是否一致？为什么？

2. 二氧化硫和空气进入转化器时（图 6.13），从转化器里的热交换器内管流过，再从塔顶进入催化剂层，而后从热交换器管外流出，进入下一层的催化剂，最后流出转化器，这样的设计有什么好处？

从转化器里出来的气体，主要是三氧化硫和氮气，以及剩余的未反应的氧气和二氧化硫。工业上用质量分数为 98.3% 的硫酸来吸收三氧化硫，之所以不直接用水或稀硫酸来吸收三氧化硫，是因为用水或稀硫酸作吸收剂时，容易形成酸雾，影响吸收速率。吸收阶段是在吸收塔里进行的，三氧化硫从塔的下部通入，98.3% 的硫酸从塔顶喷下，两者逆流接触。经过吸收可制得发烟硫酸、浓硫酸等不同产品。

#### 化学史话



#### 早期的硫酸制备

早在 1 000 多年前，就有制备硫酸的记载。最古老的方法源于炼金术，以绿矾 ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) 为原料进行煅烧，绿矾受热分解后放出  $\text{SO}_2$  和  $\text{SO}_3$ ， $\text{SO}_3$  与水蒸气同时冷凝，便得到硫酸，“绿矾油”也因此得名。我国唐代时辑纂的《黄帝九鼎神丹经诀》中也记载了“炼石胆取精华法”，即通过煅烧胆矾 ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) 而得到硫酸。

18 世纪人们开始利用硝化法制备硫酸，在玻璃器皿中燃烧硫黄和硝石的混合物，产生的二氧化硫被氮氧化物氧化为三氧化硫，再跟水反应生成硫酸。以硫铁矿为原料工业制硫酸则出现在 19 世纪后期。

在“使二氧化硫尽可能多地转化成三氧化硫的反应条件选择”的教学中，不要拔高教学要求，化学平衡移动原理不要求学生掌握。教学中可提供二氧化硫催化氧化反应的一些实验数据（不同温度、不同压强下二氧化硫的转化率），引导学生从硫的利用率角度分析和判断。

吸收阶段，引导学生思考：工业上采取哪些措施来提高三氧化硫的吸收率。



基础化工所创造的巨大社会价值和对社会的贡献正是化学科学价值最重要的体现。本节教学中可合理地融入硫酸制备的化工发展史，引导学生通过对比硫酸工业的发展史来归纳工业生产的一些基本思想、深化对化学科学价值的认识。

分析图 6.13 中气体的流向：进入转化器时，从转化器里的热交换器内管流过，再从转化器上端进入催化剂层，而后从热交换器管外流出，进入下一层的催化剂，最后流出转化器，理解这个过程中热量的充分利用的原理和工艺。

引导学生根据硫酸工业的反应原理、生产过程，分析硫酸工业中的废气、废水和废渣的主要成分，并根据“三废”中物质的性质，设计处理方案变废为宝。

### 硫酸工业中热能的合理利用

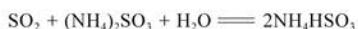
化工生产过程中往往需要消耗大量的能量。例如，工业制硫酸中使用的矿石粉碎机、鼓风机、电炉、泵等都需要电能；有的化工生产还须维持一定温度，那就需要热能。当然，加热会产生能耗使生产成本提高。如果生产中有放热过程，那么就可以利用放出的热量（化工生产中叫做“余热”或“废热”）对某些物料进行预热，这样既降低了能耗，又提高了生产的效能。

在生产硫酸的过程中，涉及的一些反应都是放热反应。因此，制酸厂采用了很多措施，如沸腾炉外设置废热锅炉回收高温废热，把热交换器和转化器合为一体，将  $\text{SO}_2$  转化为  $\text{SO}_3$  时产生的热量及时导出用来预热进入转化器的原料气，这样既加快了反应的速率，又促使化学平衡向生成  $\text{SO}_3$  的方向移动。如果生产中没有放热过程，必须要使用燃料加热时，也要设计出能充分燃烧和充分利用热量的工艺和设备。

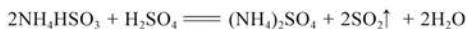
### 硫酸工业中的三废处理

化工生产中产生的废气、废水、废渣若不做处理会影响人类的生存环境，所以必须对化工生产中排放的“三废”进行治理。在治理时不仅可以减少有害物质的排放，还可以生产出其他有用的产品。

硫酸工业的生产过程中会产生二氧化硫、硫酸雾、颗粒物等大气污染物，是我国二氧化硫污染控制和减排的重点。因此，我们必须提高二氧化硫的转化率和三氧化硫的吸收率，以减少尾气中二氧化硫的含量，对于尾气中还含有的少量二氧化硫也必须进行脱硫处理。氨酸法是一种硫酸尾气的脱硫工艺，它用氨水吸收尾气中的  $\text{SO}_2$ ，产物  $\text{NH}_4\text{HSO}_3$  再用硫酸处理，使之放出的  $\text{SO}_2$  又可返回制酸系统，实现循环利用，副产物  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  可作为化肥供农业生产使用。



教学中可设计实践活动：通过查阅资料、参观访问等方式进行调查，了解一些化工生产是如何利用“废热”的。



制酸厂排出的没有被污染的冷却水可以被循环利用；若排出的是酸性废水，一般可用石灰乳等中和处理。

### 书写表达

请用化学方程式表示用石灰乳处理含酸污水的反应原理。

以硫铁矿为原料生产硫酸，硫铁矿煅烧后废渣的主要成分是氧化铁、硫化亚铁及少量有害物质。若废渣含铁量高，可直接作为炼铁的原料。若含铁量低、有害物质含量较高，需要预处理后再用于炼铁。还可利用废渣制备铁的系列化工产品，如三氯化铁、硫酸亚铁、铁红等。

### 想一想

学习本节后，你能总结和归纳出一些化工生产的基本思想吗？

近年来，我国硫酸产能、产量稳步增长，产业集中度逐年提高，装置大型化、国产化趋势明显，节能减排效果显著，技术装备水平不断提高。化工生产只要逐步淘汰落后产能，推进资源和能源综合利用，坚持绿色环保的生产方式，就能实现可持续发展。

### 链接学科

#### 绿色化学

绿色化学又称环境无害化学，是指从源头上做起，采用无毒无害的原料，在无害排放条件下进行高选择性的原子经济性的反应，获得对环境友好的产物的一门学科。绿色化学最大的特点是在生产始端就采用预防污染的手段，使过程和终端均为零排放或零污染，最终产品的原子利用率接近100%。

化工生产的基本思路如图6-2所示。



图6-2 化工生产基本思路



化工生产过程比较复杂，但一些最基本的问题是相似的，故引导学生总结和归纳出一些化工生产的思想方法是本节内容的教学重点，教学中可以通过工业合成氨这一学生陌生的化工生产情境，要求学生根据所给资料（反应原理及生产过程）、利用化学反应速率和化学平衡知识以及化工生产的思想方法，分析生产条件的控制、循环使用物质、合成混合气分离等化工问题。

# 本章教学案例

## “化学反应速率” 单元教学设计

### 一、单元设计思路

化学反应速率是化学动力学的研究内容，是化学反应基本原理之一。通过学习本单元的内容，学生可以多角度地认识化学反应，了解调控化学反应速率的方法及其与生产、生活的紧密联系。

本单元以大理石与盐酸反应速率研究的实验情境为主线串联两个课时的学习内容。通过实验数据的分析将学生对化学反应快慢的认识由感性上升至理性，引导学生理解化学反应平均速率的表示方法并探究影响化学反应速率的因素。在定性分析中，认识变量控制在实验探究中的重要意义，在此基础上进一步形成定量测定化学反应速率的方案设计思路。

本单元的教学内容结构完整，设计上体现了化学源于生活、服务于生活的观念，并符合学生的认知规律。教学内容的编排层层递进，从感性认识到理性分析，从定性到定量，能够促进学生理性思维方式的形成，提升问题解决的能力，在实际教学中可以构建教学单元，进行整体性设计。

### 二、单元学习规划

单元主题：化学反应速率

课时数：2 课时

单元分析	本单元围绕“大理石与盐酸反应速率的研究”，分为2课时。第1课时中，通过实验数据定量分析，呈现化学反应过程中速率变化的基本特征，明确使用平均速率来表征化学反应快慢的现实意义，并引发思考：化学反应速率并不匀速，有哪些因素会影响化学反应速率呢？由问题开启了第2课时的影响化学反应速率因素的实验探究，教师可以通过设计引导学生发现问题、分析问题、设计方案、实验验证，发现并总结影响速率因素的规律，进而解决调控大理石与盐酸反应速率方法的问题，体验科学探究的过程。
	本单元将化学知识与技能的学习、化学思想观念的构建、科学探究与问题解决能力的发展、创新意识与社会责任感的形成等多方面的要求融为一体，体现化学课程在帮助学生形成未来发展需要的正确价值观念、必备品格和关键能力中所发挥的重要作用。
单元目标	1. 了解化学反应平均速率的表示方法。 2. 能从已有知识和生活经验，分析化学反应速率的主要影响因素。 3. 运用变量控制的方法，实验探究浓度、温度、催化剂等因素对化学反应速率的影响。 4. 能运用化学反应速率相关知识解释生产、生活中的现象。

### 三、课时学习规划

第1课时：化学反应速率的表示方法

课时目标	1-1 能从化学反应速率快慢的视角认识实验室和生活中的化学变化。
	1-2 知道化学反应平均速率的表示方法。 1-3 知道可以通过实验方法测定化学反应速率。 1-4 能利用实验数据，分析反应过程中化学反应速率变化的特征。 1-5 理解用不同物质浓度的变化表示同一化学反应速率的意义及其关系。

(续表)

	学习活动	评价要点	教学资源
学习规划	<p>活动 1：化学反应的快慢比较。</p> <p>【情境】实验演示。</p> <p>【问题】从已有知识和生活经验回答下列问题：① 钠、镁与冷水反应，哪个快？② 块状的碳酸钙与粉末状的碳酸钙与稀盐酸反应，哪个快？③ 你能各举一个生活中变化快、慢的化学反应实例吗？（其他条件均相同）</p> <p>【任务】判断实验室、生活中的化学反应速率的快慢。</p>	<p>(1) 对于问题①②，能形成准确判断。</p> <p>(2) 对于问题③，应尽量选择速率差异明显的对照组。对于不一定属于化学变化的现象要有具体说明（如爆炸反应表述为爆竹爆炸或氢气、氧气混合爆炸等）。</p>	<p>试剂：碳酸钙（块状、粉末状）、稀盐酸、小块金属钠、镁条、蒸馏水。</p> <p>仪器：试管、药匙、滤纸等。</p>
	<p>活动 2：碳酸钙与盐酸反应速率的研究方案。</p> <p>【情境】任务情境、小组合作。</p> <p>【问题】用肉眼观察反应速率的快慢并不准确，大家能设计一个定量的方法来测定或判断碳酸钙与盐酸的反应速率吗？可以测定哪个变量？用什么实验方法测定？</p> <p>【任务】设计碳酸钙与盐酸反应速率研究的简单方案。</p>	<p>(1) 可以选择碳酸钙质量、盐酸浓度、二氧化碳的体积等变量进行测定，注意要观察学生是否采用了匹配的测定方法。</p> <p>(2) 观察学生是否能从实验的可行性角度出发，选择测定变量。</p> <p>(3) 此处还未建立化学反应平均速率的定义，学生只需根据变量的变化量与时间的比值形成对化学反应快慢的认识即可。</p>	<p>学习活动单。</p>
	<p>活动 3：实验探究碳酸钙与盐酸反应的速率。</p> <p>【情境】演示实验。</p> <p>【问题】① 反应中电子天平示数不断减小，这表示的是什么质量？② 锥形瓶口为什么要放置棉花？③ 你能描述实验中反应快慢变化情况吗？</p> <p>【任务】将实验中获取的数据绘制成图像（注意选取合适的坐标单位，曲线光滑不出现明显拐点），利用图像信息分析化学反应的快慢变化。</p>	<p>(1) 能从实验目的出发，思考各个环节的作用（如实验采用了质量法，且体系质量不断减少，故测定的是产生的二氧化碳的质量。为了准确测定逸出气体的质量，避免反应过快而导致部分溶液冲出锥形瓶，以及除去二氧化碳携带的部分水蒸气，瓶口要放置棉花）。</p> <p>(2) 观察学生能否通过绘制图像，利用更直观的方式表征反应的快慢。</p> <p>(3) 客观准确地得出先快后慢的反应过程。</p>	<p>教材第 41~42 页“实验探究”、电子天平、锥形瓶、块状碳酸钙、稀盐酸等。</p>
	<p>活动 4：化学反应速率。</p> <p>【情境】文本。</p> <p>【问题】① 从实验可知，化学反应过程是匀速的吗？② 物理学上如何定义速率？③ 可以把路程替换为化学反应中的哪个变量？④ 对于同一个化学反应而言，用不同的物质表示化学反应的平均速率会有什么不同吗？彼此存在怎样的联系？</p> <p>【任务】认识化学反应平均速率的表示方式及计算。</p>	<p>(1) 能从物理学速率概念迁移至化学反应的平均速率表达方式。</p> <p>(2) 理解用化学方程式中不同物质表示化学反应平均速率时，数值之比等于化学方程式计量数之比，并能完成计算。</p>	<p>教材第 42 页“书写表达”、第 47 页“学习指南”。</p>

## 第 2 课时：探究影响化学反应速率的因素

课时目标	<p>2-1 通过探究活动，能说出温度、浓度、压强、催化剂、反应物颗粒大小等因素对化学反应速率的影响。</p> <p>2-2 通过验证实验的设计与实施，体验科学探究的过程，认识控制变量法在科学研究中的重要价值，学会运用控制变量法研究化学反应。</p> <p>2-3 通过生活实例体验化学反应速率的调控对生产、生活及科研的重要意义，体会化学学科对社会发展的巨大贡献。</p>
------	--

(续表)

	学习活动	评价要点	教学资源
学习规划	活动 1：影响化学反应速率因素的推测。 【情境】问题情境、实验素材。 【问题】有哪些因素会影响化学反应的快慢呢？ 【任务】寻找影响化学反应速率的因素。	结合已完成的实验，学生可说出固体反应物接触面积、反应物本身性质、浓度、温度，共计四项影响化学反应速率的因素。	上一课时留存的实验视频。
	活动 2：探究影响化学反应速率外部因素的实验方案设计。 【情境】文本素材、小组交流。 【问题】①如何选择合适的研究对象？②如何判断反应的快慢？③如何对变量进行调整与控制？ 【任务】设计探究影响化学反应速率因素的实验方案。	(1) 观察学生能否从反应快慢、反应现象等多个角度选择合适的化学反应和测定方法设计实验探究方案。 (2) 观察学生在实验设计中是否关注变量控制方法的运用。 (3) 观察小组成员是否都能积极参与讨论。	学习活动单。
	活动 3：实验探究影响化学反应速率的外部因素。 【情境】学生实验、交流分享。 【问题】①研究的外部因素是什么？②选择了哪个反应作为研究对象？③设计了怎样的实验方法？④通过实验你得到了什么结论？ 【任务】以小组为单位，选择不同的研究对象，研究不同因素对化学反应速率的印象，并将研究结果与大家分享。	(1) 观察学生能否将方案设计的要素落实在具体的实验操作中。 (2) 实验操作规范，实验记录客观真实。 (3) 可由探究实验推出可靠的影响化学反应速率外部因素的规律。 (4) 在各个环节，小组成员有效分工，各司其职，在课中或课后对探究过程形成有价值的反思。	探究实验所需实验器材。 学习活动单。

## 四、单元教学（课时）设计

### 第 2 课时 探究影响化学反应速率的因素

#### 教学目标

- 2-1 通过探究活动，能说出温度、浓度、压强、催化剂、反应物颗粒大小等因素对化学反应速率的影响。
- 2-2 通过验证实验的设计与实施，体验科学探究的过程，认识控制变量法在科学研究中的重要价值，学会运用控制变量法研究化学反应。
- 2-3 通过生活实例体验化学反应速率的调控对生产、生活及科研的重要意义，体会化学学科对社会发展的巨大贡献。

#### 教学重点

影响化学反应速率的因素。

#### 教学难点

探究“影响化学反应速率的因素”实验设计和认知模型的建构。

## 教学过程

### 活动 1：影响因素推测

教师活动	学生活动	设计意图
【趣味实验】分别准备一杯冷水和热水，各投入一片维生素 C 的泡腾片。	【观察】热水中的泡腾片更快地“消失”了。	回顾旧知，从学生已有的经验出发，挖掘其中新的问题，从速率快慢的角度引导学生分析影响因素，引出本节课的研究主题和任务。
【提问】泡腾片溶于水时有化学反应发生，是什么影响了反应的速率？	【回答】温度。	这样的设计，目的是在丰富学生认知结构的基础上构建新知，实现有意义的学习。
【提问】上一节课，我们已经知道化学反应有快有慢，也学习了如何定量表示化学反应速率的方法。根据你所学的知识和生活经验，猜想一下，哪些因素会影响反应速率呢？你的依据是什么？	【回答】反应物本身的性质、催化剂、温度、浓度、压强、固体表面积等。	
【归纳】不同反应的化学反应速率是由反应物本身性质决定的，这是影响反应速率的内部因素。对于同一反应而言，催化剂、温度、浓度、固体颗粒大小、压强等因素也会影响反应速率，这些被称为外部因素。		
【过渡】本节课我们要重点探究催化剂、温度、浓度、固体颗粒大小及压强等因素是如何影响化学反应速率的。		

### 活动 2：探究方案设计

教师活动	学生活动	设计意图
I. 确定研究对象。 【提问】为了探究这些因素对化学反应速率的影响，我们要来选择可供研究的化学反应，也就是确定研究对象。下面共有五个化学反应，请根据反应物的状态及反应的特点，从中选择合适的研究对象并匹配可能研究的外部因素并说出理由。 【补充】硫代硫酸钠与盐酸的反应大家比较陌生，我们通过一个实验来了解一下。 【演示实验】硫代硫酸钠与盐酸的反应： ① $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow 2\text{NaCl} + \text{SO}_2 \uparrow + \text{S} \downarrow + \text{H}_2\text{O}$ ② $2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \uparrow$ ③ $\text{Fe} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{FeSO}_4 + \text{H}_2 \uparrow$ ④ $\text{HCl} + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ ⑤ $2\text{Na} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaOH} + \text{H}_2 \uparrow$ 【讲授】我们要选择安全可控、便于观察的化学反应作为研究对象。	【回答】反应①②③会更适合一些，这三个反应有明显现象且速率快慢适中，便于观察和调控；反应④无明显现象；反应⑤速率太快，调控有困难。反应①可以探究温度、浓度对化学反应速率的影响；反应②可以研究温度、浓度、催化剂；反应③可以研究温度、浓度、固体颗粒大小。	体验科学研究的过程，通过研究对象的确定，进一步明确研究内容与研究方法，理解控制变量法中调“单一变量”，控“其他变量”的具体方法。
II. 确定研究方法。 【启发】对这三个化学反应，我们选择怎样的方法来评判反应的快慢？影响这些反应的外部因素有很多，我们如何只研究单一因素对其化学反应速率的影响呢？ 【提问】以反应①为例，以小组为单位讨论开展研究的方法。	【回答】快慢的判断：进行对照实验，对比生成沉淀的快慢或者相同时间生成沉淀的多少。因素的调控：只改变影响的外部因素，控制其他可能的影响化学反应速率外部因素不变。	

(续表)

教师活动	学生活动	设计意图
【归纳】我们选择了反应速率适中、现象明显且易于观察的反应作为研究对象，通过变量控制探究单一变量对化学反应速率的影响，采用对照实验的方法，通过现象比较得出反应相对快慢的关系。		
【提问】请各小组自定义研究主题，设计实验方案吧。	【自主探究方案设计】学生自主选择有代表性的研究对象，分别研究浓度、温度、固体颗粒大小、催化剂对化学反应速率的影响。	

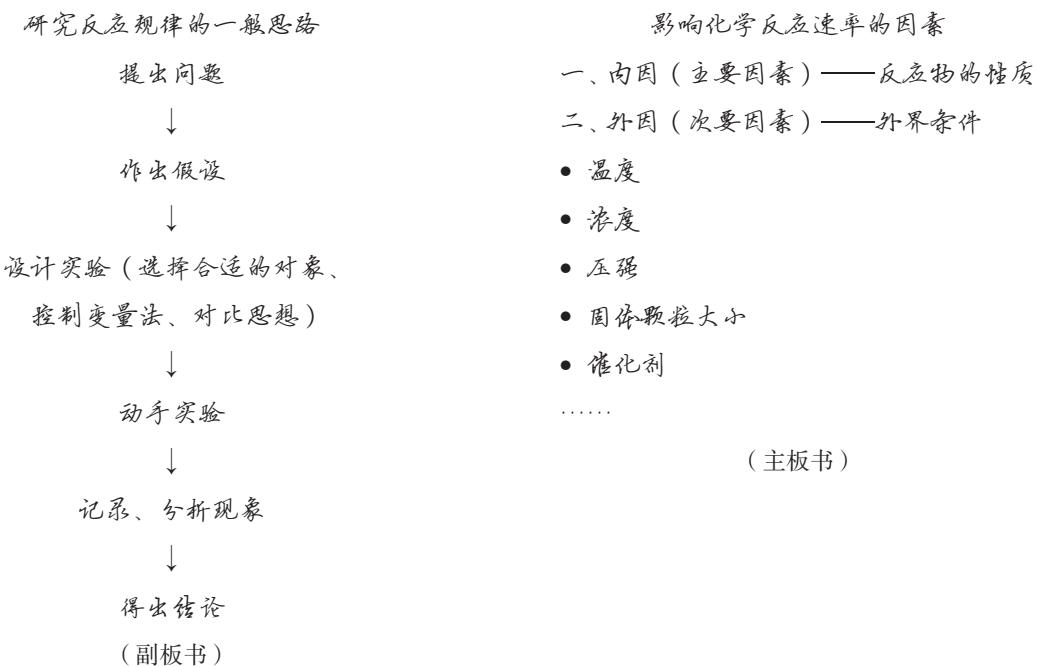
### 活动 3：科学探究验证

教师活动	学生活动	设计意图
【指导启发】	【自主探究】通过实验，探究影响化学反应速率的外部因素。	学生经历了从主题选定到方案设计再到实验探究与结论的形成这样一个完整的科学探究过程，在实践中理解变量控制、比较分析在速率影响因素研究中的重要作用，体验严谨客观的研究过程。
【提问】通过实验、展示、汇报、交流后，假设得到了证实吗？请整理出完整的实验结论。 【讲授】若学生没有注意变量控制应强调。	【归纳总结】温度、浓度、催化剂、固体颗粒大小对化学反应速率的影响结论。	通过小组展示、汇报实验过程，为“影响化学反应速率的因素”这一规律的得出获取了全面的证据，建立了观点、结论和证据之间的逻辑关系，培养了学生“证据推理”的核心素养。
【提问】化学家范托夫根据大量实验事实，提出一个经验规则：温度每升高 $10^{\circ}\text{C}$ ，化学反应速率会加快 $2\sim 4$ 倍。我们是否可以通过优化实验方案，探究温度对化学反应速率的影响？ 我们仍然以反应①为例，大家小组讨论一下，实验方案可以如何改进？ 【讲述】我们可以对硫代硫酸钠和盐酸溶液分别水浴加热，并测定水浴温度来表示反应时混合液的温度；混合后我们在烧杯侧面贴一张写有“X”的纸片，当浑浊遮挡字迹时记录反应所需时间。 【演示实验】改进后的硫代硫酸钠与盐酸的反应。	【讨论交流】实验方案的设计。  【观察讨论】观察实验现象、记录反应时间，分析温度对反应速率的影响。	通过温度对速率加快经验值，引导学生对实验测定的方法进行再思考。当观察比较的方法无法满足实验需要时，就需要更为客观准确的半定量、定量方法完成实验的测定，促进学生对化学反应快慢研究的认识从定性上升至定量。
【过渡】同学们从实验的角度对四个影响因素进行了较为全面的研究，也获得了众多有力的证据，得出了结论。接下来能不能尝试从微观的角度，分析一下压强对化学反应速率的影响呢？ 【提问】观察教材图 6.5，联系浓度变化进行描述。	【结论】在其他条件不变时，对于有气体参与的反应，增大压强，气体浓度增大，化学反应速率加快；减小压强，气体浓度减小，化学反应速率减慢。	除了化学实验外，化学探究还有其他的形式，如构建模型，可丰富感性认识，遵循从感性到理性，从具体到抽象的认知规律。对于压强因素的研究采用了微观图示分析的方法，结合之前宏观现象判断，帮助学生建立多角度研究化学问题的基本思路。
【讲述】还有很多其他因素或条件也会影响化学反应速率，比如光（请学生举例）、超声波、激光、放射性、电磁波、溶剂等等，有待于大家以后去探索。		
【归纳小结】影响化学反应速率的因素。		

## 小结与延伸

教师活动	学生活动	设计意图
【提问】你能运用今天所学的知识，说一说我们是如何调控生活中的化学反应速率的？	【回答】安全气囊的膨胀、食物腐败、延长荧光棒发光时间……	
【讲述】在实际生产中，调控化学反应速率，常用的就是催化剂，它在能源、环境、资源利用及人类健康等领域做出了重大的贡献，请同学们阅读教材第45页的新型转化催化剂，说说你知道的生产、生活中使用的催化剂吗？也可以在课后了解更多此方面的信息。	【回答】酿酒、加酶洗衣粉、生物酶、合成氨的催化剂、汽车尾气净化装置……	最后这个部分是小结也是提升，这是基于“科学探究与社会责任”的化学学科核心素养的培育，引导学生关注与化学有关的社会问题，认识化学对社会发展的巨大贡献，运用已有知识和方法综合分析化学过程对自然和社会的影响，强化社会责任意识。
【小结1】本节课运用“控制变量法”，通过实验探究了“影响化学反应速率的因素”这一化学反应规律。我们按照选定研究主题→确定研究对象与方法→实施实验→记录分析→得出结论的顺序体验了科学探究的一般过程。		
【小结2】本节课我们还充分了解了影响化学反应的因素，更感受到了它在现实生活中的应用，发展了我们对化学学科价值的新认识。利用化学变化我们不仅可以得到新物质，消除有毒有害的物质，还可以根据需求控制反应速率。学化学更好地为人类服务。		

## 板书设计



案例提供者：上海市黄浦区教育学院 陆莉萍

## “化工生产”（第1课时）教学片段设计

### 教学目标

- 能设计从原料到产品的含硫物质转化路径，了解硫酸工业的一般流程。
- 通过对比分析工业制硫酸的多种方法，对实际生产过程中的制备方案进行选择和评价。
- 通过分析制备硫酸的原理、原料、生产过程，体会节约成本、循环利用、保护环境等化工生产的基本思想。

### 教学重点

通过硫酸工业生产的学习，体会节约成本、循环利用、保护环境等化工生产的基本思想。

### 教学难点

运用反应速率和化学平衡解释硫酸工业转化阶段的能量利用。

### 教学过程

#### 教学片段1——硫酸工业反应原理的确定和原料的选择

教师活动	学生活动	设计意图
<p>【文本情境】教材第59页“化学史话”：早期的硫酸制备。</p> <p>【任务一】请阅读硫酸工业的发展史，并利用已有的硫及其化合物的“价-类”关系设计从含硫原料到产品硫酸的转化路径。</p>	<p>【思考讨论】设计从原料到产品的含硫物质多种转化方案。</p> <p>【交流展示】方案1：绿矾、胆矾 <math>\xrightarrow{\text{煅烧}}</math> <math>\text{SO}_3 \longrightarrow \text{H}_2\text{SO}_4</math>。</p> <p>方案2：S <math>\longrightarrow \text{SO}_2 \xrightarrow{\text{氮氧化物}} \text{SO}_3 \longrightarrow \text{H}_2\text{SO}_4</math>。</p> <p>方案3：<math>\text{FeS}_2 \longrightarrow \text{SO}_2 \longrightarrow \text{SO}_3 \longrightarrow \text{H}_2\text{SO}_4</math>。</p>	以工业发展史为线索，分析不同历史阶段硫酸工业中含硫物质转化的情况，注意理论联系实际，帮助学生了解化学在生产中的具体应用。
<p>【文本情境】教材第56、57页的内容。</p> <p>【任务二】从原料、能耗、工艺流程、储存运输、环境保护以及经济效益等角度综合评价以上3个方案并进行方案的选择、优化和补充。</p> <p>【任务三】用化学方程式分别表示以硫黄和硫铁矿为原料制硫酸的反应原理，并用工业流程图表示硫酸工业制备的三个主要阶段。</p>	<p>【分析评价】方案1：能耗大，原料来源少，价格昂贵，副产物多，产量小等。</p> <p>方案2：氮氧化物作为氧化剂污染环境、天然硫资源不多，但“三废”的治理量小。针对以上劣势进行优化：用氧气氧化二氧化硫、通过回收石油炼制、天然气净化、高硫煤加工过程中的硫黄，提高硫资源的自给率和利用率。</p> <p>方案3：硫铁矿资源较丰富，但生产中会产生“三废”（废气、废液、废渣），治理成本大、能耗高、硫资源利用率低。故近年来，我国以硫铁矿制硫酸的产量占硫酸总产量的比例不断下降。</p> <p>【补充】方案4：我国冶炼烟气制硫酸。冶炼金属硫化矿后烟气中含有二氧化硫，可用来制硫酸。</p> <p>【书写相关化学方程式】</p> <p>【画出工业流程图】根据上述原理，用图示简单明了地表示造气、转化和吸收三个硫酸工业制备的主要阶段。</p>	帮助学生学会辩证地看待资源使用的利弊，主动考虑其对环境和社会带来的影响，逐步形成节约成本、循环利用、保护环境等化工生产的基本思想。

#### 教学片段2——硫酸工业转化阶段能量利用的分析

教师活动	学生活动	设计意图
<p>【图片情境】教材第58页图6.13。</p> <p>【任务一】根据图6.13，描述转化器中二氧化硫、氧气等气体的流动方向。</p>	<p>【观察描述】二氧化硫和氧气进入转化器时，从转化器里的热交换器内管流过，再</p>	引导学生描述二氧化硫、氧气等气体在转化器中的流动方向，为分析转

(续表)

教师活动	学生活动	设计意图
<p>【提问】最后从转化器下方流出的混合气体是什么？</p>	<p>从转化器顶部进入催化剂层，而后从热交换器管外流出，进入下一层的催化剂，最后从转化器下方流出。</p> <p>【回答】主要是三氧化硫，还有少量没有反应的二氧化硫和氧气等。</p>	化阶段的能量利用打好基础。
<p>【表格数据】提供二氧化硫催化氧化反应中不同温度下二氧化硫的平衡转化率数据。</p> <p>【讲述】转化阶段是硫酸生产的核心，转化率高，则硫的利用率高，对环境的影响小。</p> <p>【任务二】分析转化过程中的能量变化和能量利用。</p> <p>【提问1】当二氧化硫和氧气从转化器上端进入催化剂层，随着反应的进行，混合气体的温度将会怎么变化？温度的变化对二氧化硫的平衡转化率有什么影响？</p> <p>【讲述】应该将反应温度尽可能控制在催化剂的最佳活性温度范围内。</p> <p>【提问2】请结合转化器中二氧化硫、氧气等气体的流动方向，分析生产过程中是如何及时地从反应系统中移走反应所放出的热来控制反应的温度。</p> <p>【讲述】经热交换器冷却的混合气体（三氧化硫、二氧化硫、氧气等），再进入下一层的催化床层充分反应，最后从转化器下方流出。</p>	<p>【思考回答】二氧化硫转化成三氧化硫是一个放热的可逆反应，随着反应的进行，混合气体的温度会不断上升。根据表格数据分析可知，温度升高，二氧化硫的平衡转化率会降低。</p> <p>【分析交流】二氧化硫和氧气等混合气体在转化器顶部的催化剂层反应后温度升高，一段时间后从热交换器管外流出，而热交换器管内是还未反应的、待加热的原料气（二氧化硫和氧气），通过这样的方式（热交换器），利用第一层催化剂层中反应放出的热量，预热原料气，使热量得到充分利用，减少能源的损耗。</p>	通过问题引导、提供分析所需的数据证据等方式，帮助学生从能量角度分析硫酸工业转化阶段的化学条件（温度）的控制以及利用热交换器进行能量充分利用的原理，感受充分利用能量的化工生产基本思想。

案例提供者：上海市第六十中学 赵屹

# 本章教学问题讨论与教学资源链接

## 实验讨论

### 1. 大理石与盐酸反应的速率

第6章第1节在介绍化学反应速率时，通过“实验探究”引入了“大理石与盐酸反应的速率”的实验，旨在通过大理石与盐酸的反应，让学生分析这一实验的设计思路，观察记录实验现象和实验数据，理解化学反应快慢的衡量标准与定量描述的方法。

教师在课堂上可以通过下述问题启发学生进行思考：①为什么要取用干燥的锥形瓶？②为什么要用棉花塞在锥形瓶口？③取用块状或粉末状的大理石，反应速率是否一样？④时间-质量图中，反应起始阶段与反应进行一段时间的反应曲线趋势相比有何差异？为什么？引导学生综合分析后得出结论：①取用干燥的锥形瓶，是为了保证各组实验中的盐酸浓度保持一致，排除因反应溶液浓度变化对实验结果的影响。②用棉花塞住瓶口，一方面为防止不当操作引起二氧化碳释放太快，导致部分反应溶液逸出反应瓶；另一方面，尽可能减少释放出的二氧化碳携带水蒸气而引起反应体系质量测量偏差。③不同形状的大理石会影响反应速率，颗粒较小的粉末，会增加二氧化碳释放的速率；大块的大理石，反应速率相对较慢。如果有条件，可以让学生分组测定不同颗粒度大理石的反应速率，再根据颗粒度的大小计算大理石的比表面，并与反应速率进行关联分析，能帮助学生更直观地理解反应物的宏观尺寸对化学反应速率的影响。④分析时间-质量图，可以发现，不同反应时间点的曲线变化趋势会有差别，这是因为随着反应的进行，反应物的浓度在发生改变，不同时刻的瞬时反应速率也有所不同；不同时间段的平均反应速率是不同的，进一步建构平均反应速率的概念。

### 2. 影响反应速率的因素

第6章第1节在介绍影响化学反应速率时，通过“实验探究”引入了“影响化学反应速率的因素”实验，旨在通过控制不同反应物浓度、不同反应温度和有无催化剂等反应条件，测量或感知化学反应速率的变化。需要让学生仔细分析这一系列实验的设计思路，了解各种反应体系速率测量方法的选择原则，准确控制反应条件，认真观察、记录实验现象和实验数据，正确理解影响化学反应速率的内因与外因。

教师在课堂上可以通过下述问题启发学生思考：①为什么要除去镁带表面的氧化膜？②为什么记录反应体系的压强随时间的变化即可推知反应速率的变化？③在考察反应温度对反应速率影响实验时，水浴温度对反应速率有何影响？如何保证反应过程中水浴温度保持不变？④考察催化剂对反应速率的影响时，加入二氧化锰的量对反应有何影响？引导学生综合分析后得出结论：①除去镁带表面氧化膜，是为了避免氧化膜阻碍镁带与盐酸接触而对化学反应速率产生影响。镁带表面氧化膜除去程度直接影响了镁带与盐酸反应的位点数，这一因素的掺杂，将会对盐酸浓度对反应速率影响的考察产生

干扰，虽然实验现象不一定非常明显，但从严格的定量数据分析中应该会观察到，所以需要提醒学生注意并尽可能避免该干扰因素。②选择合适的变量来研究影响化学反应速率的因素，是化学动力学研究中经常遇到的问题。化学反应速率是指单位时间内生成物浓度的增加或者反应物浓度的减小，因此，只要反应过程中可探测的物理量能与物质浓度直接关联，即可用以度量化学反应速率。该实验中反应体系的压强变化是由氢气生成的量引起，因此可以通过测量反应体系的压强随时间变化，来衡量化学反应速率的变化。由于本实验中，采用的反应体系没有去除大气的影响，容器的气密性也有欠缺，因此，主要通过分析测量数据的变化趋势得出结论。③考察反应温度对反应速率的影响实验中，提供给学生的是温水和冰水，而且也没有强调反应过程中要恒温，对反应温度更多的是定性描述。也可以给学生提供温度计，让学生记录水浴恒温和后续反应过程中，体系反应温度的变化，对反应温度控制建立量的概念，并探讨保证反应过程中恒定温度的技术和策略，体会控制实验条件的必要性。④考察催化剂对反应速率的影响的实验，强调加入少量二氧化锰，并没有量的具体数值要求，建议让学生分组试验不同的量，如 20 mg、30 mg、50 mg，然后比较反应速率的变化。实验后，可以引导学生计算二氧化锰物质的量与过氧化氢物质的量的比值，进一步引导学生深层次理解催化的含义以及如何选择催化剂的反应条件。

### 3. 化学平衡的移动

第 6 章第 2 节在介绍化学平衡的移动时，通过“实验探究”引入了“化学平衡的移动”的实验，旨在通过增加反应物或生成物的浓度，让学生感知化学平衡的移动。教师可以引导学生仔细分析系列实验的设计理念，认真观察记录实验现象，理解影响化学平衡的因素，同时引导学生理解化学平衡特征、影响化学反应平衡的内因与外因。

教师在课堂上可以通过下述问题启发学生进行思考：①为什么要控制各反应试管中溶液体积相等？②为什么可以通过反应体系的颜色变化判断反应平衡的移动？③向 4 号试管中加入氢氧化钠溶液的目的是什么？通过问题思考与实验现象的观察记录和充分讨论：①本实验的目的是让学生体验和认知反应物浓度变化对化学平衡移动的影响，向 1 号试管中加入 4 mL 反应液，作为参照，而 2 号、3 号试管中在原有的 3 mL 反应液基础上，分别加入 1 mL 1 mol·L<sup>-1</sup> KSCN 溶液和 1 mL 1 mol·L<sup>-1</sup> FeCl<sub>3</sub> 溶液，实验操作完成后，1~3 号试管中的溶液体积近似相等。2 号试管中 KSCN 的浓度增加，3 号试管中 FeCl<sub>3</sub> 的浓度增加，通过反应体系的颜色变化，结合反应的离子方程式  $\text{Fe}^{3+} + 3\text{SCN}^- \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{SCN})_3$ ，便可推断出化学平衡向右移动。②本实验中，体系颜色变化与生成物 Fe(SCN)<sub>3</sub> 的浓度有关，体系颜色越深，表明生成物的浓度越大，可推断出化学平衡向右移动。③向 4 号试管加入 NaOH 溶液后，会消耗 Fe<sup>3+</sup>，生成红褐色氢氧化铁沉淀（所以试管中可观察到红褐色沉淀），溶液中 Fe<sup>3+</sup> 浓度减小，化学平衡向左移动，上层溶液颜色变浅。

## 教学疑难问题解析

### 1. 化学反应的速率

两种物质反应生成产物，一定时间内生成产物的量多，其反应速率就快；生成的产物量少，其反应速率就慢，若从  $t_1$  到  $t_2$  的时间间隔  $\Delta t = t_2 - t_1$  内，产物的物质的量的变化为  $\Delta n = n_2 - n_1$ ，那么  $\Delta n$  和  $\Delta t$  的比值就是  $\Delta t$  这段时间内的平均反应速率  $v$ ：

$$v = \frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{n_2 - n_1}{t_2 - t_1}$$

对于溶液中发生的反应，平均反应速率可以用单位时间内产物的浓度变化来表示：

$$v_c = \frac{c_2 - c_1}{t_2 - t_1}$$

若产物是气体，反应又在体积  $V$  确定的容器内进行，在一定温度  $T$  下，产物的物质的量  $n$  和它的压强  $p$ 、浓度  $c$  有如下定量关系：

$$n = p \frac{V}{RT} = cV$$

那么在  $V$  和  $T$  都保持不变时，气体反应的平均反应速率也就可以用单位时间内产物的压强变化或产物的浓度变化来描述，即：

$$v_p = \frac{p_2 - p_1}{t_2 - t_1} \quad v_c = \frac{c_2 - c_1}{t_2 - t_1}$$

三种速率之间的关系是：

$$v_n = v_p \times \left( \frac{V}{RT} \right) = v_c \times V$$

有些情况下反应速率也可以用  $v_n$  来表示，甚至直接用单位时间内分子数的变化来描述。

## 2. 反应速率定律

化学反应速率的快慢首先取决于物质本身的性质，其次与反应温度、反应物浓度等条件有关。化学反应的速率与浓度之间的关系通常用速率定律来描述。

原则上讲，任何化学反应都有一定的可逆性，因此化学反应的速率应该是反应的净速率，也就是正反应速率和逆反应速率之差。若反应在等温条件下进行，反应的净速率通常与反应物浓度和生成物浓度都有关，反应速率与反应物和生成物浓度之间的这种关系的经验定律就称为速率定律。

在反应  $aA + bB + cC \rightarrow P$  (产物) 的开始阶段，产物的量很小，反应速率只和反应物 A、B、C 的浓度成比例：

$$\frac{d[A]}{adt} = k[A]^l [B]^m [C]^n$$

这个经验定律称为反应的微分速率定律（或称微分速率方程），其中各反应物的浓度指数  $l$ 、 $m$  和  $n$  是由实验确定的整数或半整数，分别称为对各物质的反应级数， $l$  是对 A 物质的级数， $m$  是对 B 物质的级数， $n$  是对 C 物质的级数，三者之和 ( $l + m + n$ ) 称为反应的总级数。 $l + m + n = 0$  是零级反应， $l + m + n = 1$  是一级反应， $l + m + n = 2$  是二级反应等。反应级数与反应物在反应化学方程中的计量数无关，而是完全由实验来确定的。为了确定反应对 A、B、C 的级数，可以设计一系列 A、B、C 起始浓

度都不同的反应，并测它们的起始速率，例如：

第一组实验，A、B、C 起始浓度为  $[A]_1$ 、 $[B]_1$ 、 $[C]_1$ ，实验速率为  $v_1$ 。

第二组实验，A、B、C 起始浓度为  $[A]_2$ 、 $[B]_2$ 、 $[C]_2$ ，实验速率为  $v_2$ 。

第三组实验，A、B、C 起始浓度为  $[A]_3$ 、 $[B]_3$ 、 $[C]_3$ ，实验速率为  $v_3$ 。

第四组实验，A、B、C 起始浓度为  $[A]_4$ 、 $[B]_4$ 、 $[C]_4$ ，实验速率为  $v_4$ 。

若反应速率定律为  $v=k[A]^l[B]^m[C]^n$ ，可以把速率定律改写成对数形式：

$$\log v = \log k + l \log [A] + m \log [B] + n \log [C]$$

然后把获得的各组实验数据代入上述方程，得一组联立方程：

$$\log v_1 = \log k + l \log [A]_1 + m \log [B]_1 + n \log [C]_1$$

$$\log v_2 = \log k + l \log [A]_2 + m \log [B]_2 + n \log [C]_2$$

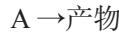
$$\log v_3 = \log k + l \log [A]_3 + m \log [B]_3 + n \log [C]_3$$

$$\log v_4 = \log k + l \log [A]_4 + m \log [B]_4 + n \log [C]_4$$

通过上述方法解出  $l$ 、 $m$ 、 $n$  后，就可以用任意一组实验数据算出速率常数  $k$  值，得到该温度条件下反应的微分速率定律。

微分速率定律描述的是反应物浓度与反应速率之间的关系，但有时我们还需要了解某个时刻反应物的浓度，描述时间和反应物浓度的函数关系式称为反应的积分速率定律（或称积分速率方程）。

例如，当只有一种反应物时（如纯物质的重排或分解），反应式可以简单地写成：



当该反应对 A 的级数为一级时，它们的微分速率定律为： $-\frac{d[A]}{dt} = k[A]^l = k[A]$

该微分反应速率定律可以改写成积分形式：

$$\int_{[A]_0}^{[A]} \frac{d[A]}{[A]} = -k \int_0^t dt$$

$$\ln [A] - \ln [A]_0 = -kt$$

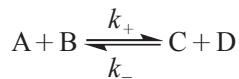
$$\ln [A] = -kt + \ln [A]_0$$

如果以  $\ln [A]$  对时间  $t$  作图，能得到一条直线，直线斜率为  $-k$ 。 $\ln [A] - \ln [A]_0 = -kt$  和  $\ln [A] = -kt + \ln [A]_0$  都是积分速率定律，用积分速率定律可以计算出某个时刻反应物 A 的浓度。

### 3. 化学反应的微观可逆性原理

大量研究表明，化学反应中的基元反应是反应物分子经一次碰撞形成活化络合物而直接生成产物的过程，这种碰撞行为服从力学定律。因此，一个基元反应在正向过程经历的状态与逆向过程经历的状态完全相同，把力学中的微观可逆性原理用于基元反应，就得到如下描述“如果正向反应是基元反应，则逆向反应必然是基元反应，而且，它在正、逆方向进行时必通过同一个活化络合物”。可用下式表示： $A \rightleftharpoons X^* \rightleftharpoons B$ ，这就是微观可逆性原理。把微观可逆性原理用于宏观的平衡体系时，便可以得到这样的结论：“平衡时体系中每一基元反应的正向速率必等于逆向速率”，这就是仔细平衡原

理。昂萨格指出，它是一个独立的原理。它表明，这种平衡是动态平衡，平衡是被每一基元反应的正逆过程以相同速率进行所维持。对于如下基元反应：



当正向反应速率等于逆向反应速率，即  $r_+ = k_+[A][B] = r_- = k_- [C][D]$ ，此时化学反应处于平衡状态。

#### 4. 化学平衡状态的特征

在适宜的条件下，可逆反应达到平衡状态时，具有以下特征：

(1) 化学平衡是动态平衡，从微观上看，正逆两个方向的反应仍在继续进行，遵循微观可逆原理，平衡态的建立不是反应的终止，只是净反应结果无变化。

(2) 当反应条件一定时，平衡状态下，平衡组成不再随时间变化。

(3) 平衡态是自发达到的，一切非平衡态都自发地趋向于达到平衡态，与化学反应从哪个方向开始进行无关。

#### 5. 化学平衡的移动

1888年，法国化学家勒夏特列（H.-L. Le Chatelier）指出：若对一个已经处于平衡状态的体系施加某种外来干扰，体系的平衡点就会朝着削弱外来干扰的方向移动。

这条普遍适用于一切平衡的原理称为勒夏特列原理。当外界条件改变时，化学反应的平衡会发生移动。化学反应的平衡点是由温度、压强和体系的组成三个基本因素所决定的，可以根据勒夏特列原理判断反应移动的方向：当增加体系中某物质的浓度，平衡将向着减小其浓度的方向移动；增加体系的总压强，平衡将向着分子数减少使体系总压减小的方向移动；对体系加热，平衡就会向着反应吸热的方向移动。

例如，在一定温度下的某个气相反应的自由能变化为：

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln Q_p$$

当反应达到平衡状态时， $\Delta G = 0$ ，于是  $\Delta G^\circ = RT \ln K_p$ ，代入上式可以给出：

$$\Delta G = -RT \ln K_p + RT \ln Q_p = RT \ln \frac{Q_p}{K_p}$$

如果以  $p_i = c_i RT$  代替体系中各组分的分压，可得  $Q_p = Q_c (RT)^{\Delta n}$ ， $K_p = K_c (RT)^{\Delta n}$ 。因而上述关系式可以写成：

$$\Delta G = RT \ln \frac{Q_p}{K_p} = RT \ln \frac{Q_c (RT)^{\Delta n}}{K_c (RT)^{\Delta n}} = RT \ln \frac{Q_c}{K_c}$$

利用这些关系，通过反应浓度商  $Q$  和平衡常数  $K$  的相对大小，就能确定平衡点的移动方向：

当  $Q_p < K_p$  或  $Q_c < K_c$  时， $\Delta G < 0$ ，反应自发正向进行，平衡点就朝生成产物的方向移动。

当  $Q_p = K_p$  或  $Q_c = K_c$  时， $\Delta G = 0$ ，体系处于平衡状态，平衡点不移动。

当  $Q_p > K_p$  或  $Q_c > K_c$  时， $\Delta G > 0$ ，逆反应自发进行，平衡点就向生成反应物的方向移动。

所以，将外界条件浓度、温度、压强等参数改变后，分别代入上述关系式，计算比较后即可判断平衡移动的方向，如  $\text{H}_2$  与  $\text{I}_2$  的化合反应（表 6-2）。

表 6-2  $\text{H}_2$  与  $\text{I}_2$  化合反应浓度商和反应自发的方向 ( $K_c = 50.3$ ,  $440^\circ\text{C}$ )

序号	起始浓度 $c$ / (mol · L <sup>-1</sup> )			$Q_c = \frac{[c(\text{HI})]^2}{c(\text{H}_2) \cdot c(\text{I}_2)}$	$Q_c$ 与 $K_c$ 比较	反应的自发方向
	$c(\text{H}_2)$	$c(\text{I}_2)$	$c(\text{HI})$			
1	1.00	1.00	1.00	1.00	$Q_c < K_c$	正向自发
2	1.00	1.00	0.01	$1.0 \times 10^{-4}$	$Q_c < K_c$	正向自发
3	0.22	0.22	1.56	50.3	$Q_c = K_c$	处于平衡状态
4	0.22	0.22	2.56	135	$Q_c > K_c$	逆向自发
5	1.22	0.22	1.56	9.07	$Q_c < K_c$	正向自发

## 6. 硫酸工业生产的工艺条件

在化学产品的工业生产过程中，无论是物质转化的过程还是转化过程的调控，都是化学知识的体现和运用。生产过程中的合成产品、检验产物、测定产率、处理尾气等环节中问题的解决思路，与实验室中物质制备、物质检验、含量测定、分离除杂、尾气吸收等实验思路一致，处理方法近似，我们可以硫酸的生产为例。

硫酸被称为“工业之母”，作为重要的化工原料，其发展一直受到世界各国高度关注。近年来，我国硫酸工业发展迅速，已成为硫酸生产和消费大国。2013 年全国硫酸总产量达 8 650 万吨，占世界总产量的  $\frac{1}{3}$  左右。目前，我国在硫酸生产的装置规模、技术装备水平、生产工艺、废物排放指标等方面均有了长足进步，正从一个硫酸生产大国向硫酸生产强国迈进。

目前，国内硫酸的生产大部分是采用两转两吸工艺的两次转化流程。硫铁矿和冶炼烟气制酸装置中，通常将稀酸洗净工艺作为净化工序中必不可少的部分，且配有污水或废酸处理设备，来减少污水的排放。大型冶炼烟气制酸装置中还设有专门的过滤设备以回收酸泥中的可利用金属。常采用以下策略。

(1) 随着技术的进步，硫酸生产工艺逐渐采用两转两吸工艺。在此转化工序中，炉气中约 97%  $\text{SO}_2$  转化为三氧化硫后，送进一吸塔，经过吸收后再送到第四段催化剂床层，使剩下的二氧化硫在三氧化硫浓度下降后再进行转化，二氧化硫的转化率可提高到 99%，然后送去二吸塔。与传统的一转一吸工艺相比，两转两吸工艺是有最终转化率更高、能够处理二氧化硫含量更高的炉气以及可减少尾气中排放出的量等优势。

(2) 如果采用硫黄作为生产原料，为了去除原料中的杂质，将固体硫黄由输送机送入熔硫槽内熔化成液态硫黄，再流经滤槽，进入叶片式过滤器过滤。在正式过滤前，需要向过滤槽内加助滤剂硅藻土，使液硫过滤器时形成有效的过滤层。除去液态硫中的杂质后成为精制液硫，并送入溶硫区的液硫储罐储存待用。为使硫黄始终保持液态，炉前精硫槽、液硫过滤器、液硫储罐等设备内均设有蒸气加热管，用低压蒸气间接加热保温。储罐内的液硫流入炉前精硫槽，再由精硫槽加压并经硫黄喷枪雾化后喷入焚硫炉内，而入口空气经干燥后经入口风机加压一并送入焚硫炉燃烧。

(3) 即在接触法的基础上提高操作压力。入口常压空气由压缩机提高到一定压力，再进入后续装

置。根据反应动力学理论，对二氧化硫和氧气在催化剂上的氧化反应，在增加体系压力后进行，反应物转化率可提高到 99.95% 以上，基本可消除尾气的污染。法国的第一套加压法硫酸生产装置，采用两转两吸流程，操作压力 0.55 MPa，总转化率为 99.84%~99.90%。

(4) 两转两吸接触法工艺较一转一吸投资更大，尾气处理容易达到排放标准。一转一吸的尾气吸收系统一般使用的方法有三种：一种是用碳酸氢铵或氨水吸收二氧化硫，产品为亚硫酸铵；第二种是利用氨—酸法回收二氧化硫，产品为液体二氧化硫和硫酸铵母液；第三种是利用氨水吸收二氧化硫，产品为高浓度亚硫酸氢铵。

(5) 硫黄制酸工艺基本有三步：硫黄焚烧、二氧化硫转化和三氧化硫吸收。这三步均为放热反应，产生的热量占总热量的 57%、18% 和 25%。前两步产生的是高中温位热能，可通过废热锅炉、省煤器和蒸气过热器回收能量并产出中压蒸气。

对于低温位热的吸收利用，美国的孟莫克有限公司开发了干吸工序低位热能生产低压蒸气的技术，此技术通过下列措施，来提高能量的利用效率：① 主鼓风机布置于干燥塔下游，将风机的压缩热直接带入焚硫炉；② 尽可能提高进转化器的二氧化硫浓度，减少稀有气体带出系统的热量，对于用普通催化剂的硫黄制酸装置，MECS 标准设计的二氧化硫质量分数为 11.5%（含预转化的三氧化硫）；③ 采用含铯催化剂，以进一步提高进转化器的二氧化硫浓度；④ 采用省煤器尽可能降低进吸收塔的气体温度；⑤ 提高蒸气压力等级，孟莫克标准设计的蒸气压力为 6.2 MPa，蒸气温度为 82℃，采用上述措施，低温位热能回收率高达 90%，甚至 99%。

## 教学资源

### 1. 科学家探究化学反应速率和化学平衡的历程

真正系统开展化学动力学的研究，最早可追溯到 19 世纪中叶。开始时人们认为反应速率应与温度有关，随后几十年的研究重点，仍主要集中在反应物质的浓度对反应速率的影响，直到 19 世纪 80 年代，才有系列研究报道温度对反应速率的影响，其中 1889 年瑞典物理化学家阿伦尼乌斯（S. A. Arrhenius）发表的研究成果表明，反应速率常数与反应温度间的关系可以用数学方程表达，这就是有名的阿伦尼乌斯方程，是物理化学中非常重要的一个方程。

其实阿伦尼乌斯是个电化学家（因创立电离学说获 1903 年诺贝尔化学奖），他在自己的研究论文中提到“如果盐在溶液中以复杂的分子存在，它随着溶液稀释而离解”，但当时，他的观点并没有得到大多数研究者们的认可。他参与速率测量研究的目的是让他的电解理论被广泛接受，因此阿伦尼乌斯关于动力学的研究主要涉及电解质体系。1886—1888 年，他开始与德国物理化学家奥斯特瓦尔德（W. Ostwald）、荷兰化学家范托夫（J. H. van't Hoff）一起开展相关研究工作，并于 1899 年发表研究论文，他对当时已经发表的“温度对反应速率的影响”进行了总结，认为温度与反应速率的数据可以用一个通式表示，即  $k(T)=A\exp(-\frac{C}{T})$ ，其中  $A=k(T_0)\exp(\frac{C}{T_0})$ ，某些特定场合， $A$  和  $C$  为常数。

在阿伦尼乌斯总结的系列研究中，他提出的关系式与范托夫给出的反应速率与温度之间的关系式很接近，因此有人曾认为阿伦尼乌斯方程的最早创始人是范托夫。实际上，范托夫在研究可逆反应体系发现，正逆反应速率常数与温度的关系表达应该相似，可以用平衡常数代替，并最后推出反应速率常数  $K$  的对数  $\ln K$  与反应温度  $\frac{1}{T}$  呈线性关系，与之相比，阿伦尼乌斯提出的方程适用性更广。

也有人认为，阿伦尼乌斯方程应该是 1878 年由霍特（Hood）提出的。那时，霍特研究了 18~22℃ 范围内亚铁离子与  $\text{ClO}_3^-$  的反应行为，认为反应速率的增加与反应温度  $T$  平方成正比，后来又修正为与  $b^T$  成正比（常数  $b$  约为 1.093），显然没有阿伦尼乌斯方程合理。

阿伦尼乌斯方程发表 10 年后，当德国物理化学家博登施坦（M. Bodenstein）发表关于  $\text{H}_2$ 、 $\text{I}_2$  在 200 K 以上反应时  $\lg k$  与  $\frac{1}{T}$  呈线性关系时再一次遭到质疑和考验。一直到半个世纪后，阿伦尼乌斯方程才真正被广泛接受。在这个过程中，两个关于双分子反应的理论发展，大大推动了阿伦尼乌斯方程的被接受的进程。与此同时，人们也逐渐认识到，有些情况下阿伦尼乌斯方程并不适用，比如反应的起始阶段、爆炸反应和高温的催化反应等。

## 2. 振荡反应中数字化实验技术的应用

大多数化学反应是由若干个基元反应组成，这类复杂反应的反应速率和反应物活度之间的关系大多数不能用质量作用定量预示。以实验方法测定反应速率和反应物浓度的计量关系，是研究反应动力学的一个重要内容。对复杂反应，可以设计一系列实验方法获得可靠的实验数据，并据此建立反应速率方程式，以其为基础，推测反应机理、提出反应模式。

人们通常研究的化学反应，其反应物和产物的浓度随时间呈单调性变化，最终达到不随时间变化的状态。而某些化学反应体系中，会出现非平衡非线性现象，即有些组分的浓度会呈现周期性变化，该现象称为化学振荡反应。为了纪念最先发现、研究这类反应的两位科学家别洛索夫（Belousov）和扎鲍廷斯基（Zhabotinski），人们将可呈化学振荡现象的含溴酸盐的反应笼统地称为 B-Z 振荡反应。测定研究 B-Z 振荡反应，可选用离子选择性电极法、分光光度法和电化学方法等。也可采用电化学方法，即在不同的温度下通过测因  $[\text{Ce}]^{4+}$  和  $[\text{Ce}]^{3+}$  之比产生的电势随时间变化曲线（图 6-3），分别从曲线中读取诱导时间 ( $t_u$ ) 和振荡周期 ( $t_z$ )，并根据阿伦尼乌斯方程：

$$\ln \frac{1}{t_u} \left( \text{或 } \frac{1}{t_z} \right) = -\left( \frac{E}{RT} \right) + \ln A$$

分别作  $\ln \frac{1}{t_u} \sim \frac{1}{T}$  和  $\ln \frac{1}{t_z} \sim \frac{1}{T}$  图，最后从图中的曲线斜率分别求得表观活化能 ( $E_u$  和  $E_z$ )。

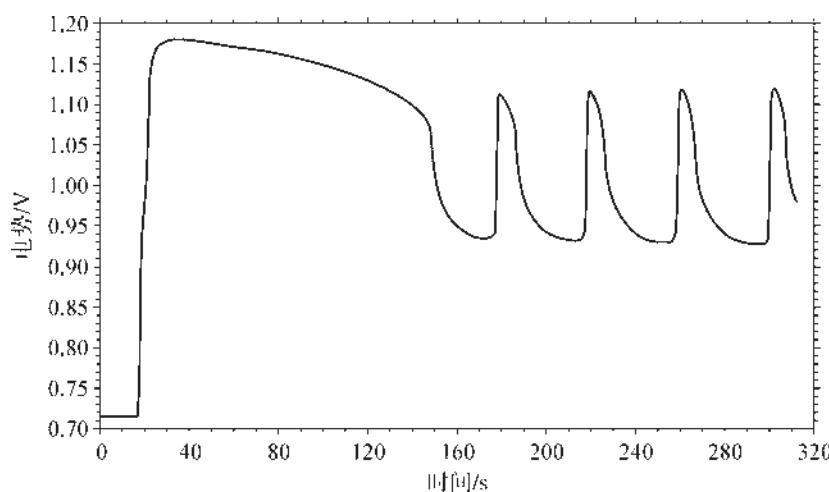


图 6-3 时间-电势图

### 3. 现代合成氨工业中的节能减排

合成氨工业是一个特殊的传统工业。生产合成氨的原料和燃料以及产品氨都是能源，实际上是一座能源转化装置。合成氨反应是一个没有副反应、原子利用率 100% 的绿色反应，因此评价合成氨技术优劣的判据不是产品氨的质量，也不是数量，而是氨综合能耗指标，生产过程能量损耗约 50%，节能潜力大。但粮食的战略地位决定了合成氨工业是不可替代的，无论能源供应如何紧缺，环境控制如何日益严格，化肥的刚性需求长期存在。因此合成氨工业必须依靠科技进步来应对这一严峻形势而继续发展，传统合成氨工业的转型升级、节能减排必须依赖科技进步。

复杂的合成氨系统工程，转型升级和节能减排需要综合治理，从原料、技术、设备、工艺、管理等诸多方面下功夫。现代大型合成氨装置是目前工业上最为庞大复杂的代表性工业装置之一。我国海南建设的一套节能型工艺装置，设备总台数为 312 台，其中机泵类 75 台、压力容器类 137 台、其他 100 台；工艺管线总长度达 40 888 m，绝大部分为高压、高温管道；各类阀门总数达 5 645 台/套，仪表总数达 2 747 台/套，动力设备总装机容量达 38 783 kW，占总设计能耗的 40.28%。这是一系列高新技术的集群装置，其中包含了一系列现代高新技术成果，涉及化工、能源、材料、环保领域一系列共性-关键技术。

原料选择方面，合成氨生产所需的原料和燃料都是能源，国外主要是以天然气为原料，占 85% 以上；我国天然气仅占 22%（消耗天然气约 126 亿立方米），而煤占 76.4%。根据含碳资源合理利用的氢/碳比相近原则，含氢量最高的天然气是用于生产合成氨的最经济、最合理的原料。有数据表明，我国 2013 年生产合成氨 5 745.3 万吨。如果其中有约 50% 即 2 900 万吨合成氨用天然气代替煤为原料，则需消耗天然气约 238.8 亿立方米。这些天然气用于生产合成氨与用作民用燃料使用相比，经济效益可增加 276 亿元。同时可以减少 4 770.5 万吨标煤，可减少二氧化碳排放 6 847 万吨。

气体分离技术方面，合成氨过程中涉及二氧化碳、氨、氢和稀有气体的分离。产品氨与排放的二氧化碳联产尿素或碳酸氢铵是至今少有的二氧化碳捕集、封存和利用的成熟技术之一。深冷分离、膜分离和变压吸附分离技术在合成氨过程中都有广泛应用。现有国产大型的膜分离设备和变压吸附分离设备还达不到大型合成氨过程的要求，如氢回收膜分离器依然依赖进口。在引进技术中没有回收 Ar 和 He 的配套装置，这里蕴含着年产  $30 \times 10^4 \text{ m}^3$  Ar、 $4 \times 10^4 \text{ m}^3$  He 的资源有待利用。

合成气是化学工业中的一种较为重要的中间物种。利用合成气可以高选择性地合成各种化学品及系列燃料，也可以作为纯氢和纯一氧化碳生产的原料。合成气在能量转化中发挥着越来越重要的作用，是化学工业路线多样性发展及合成性燃料的核心。目前，合成气最主要的用途是作为氨合成（2008 年 1.809 亿吨/年）和甲醇生产（2005 年 3 300 万吨/年）的原料。国家石化产业调整规划提出了支持化肥企业联合重组，引导大型能源企业与氮肥企业组成战略联盟，实现优势互补在现有大型合成氨装置中，依托现有炼厂设施，省去合成气制造和合成油加工的投资，形成“氨联油”“氨联醇”“醇联烯”等联合生产线，如图 6-4 所示。从国家安全与国家能源战略角度考虑，一旦需要即可将散布在我国各地的多数合成氨厂转为生产液体燃料的厂，形成集散生产与消费模式，稳固自我能源支撑体系，保证在非常情况下发动机燃料的自给，对于国家应付可能发生的能源封锁及突发事件，具有极其重要的战略作用。

现代大型合成氨装置的余热回收及能量梯级利用技术在传统工业中具有典型的代表性。图 6-5 展示了大型合成氨装置余热回收与梯级利用系统。由图可知，大型合成氨装置的工艺过程与蒸气动力系

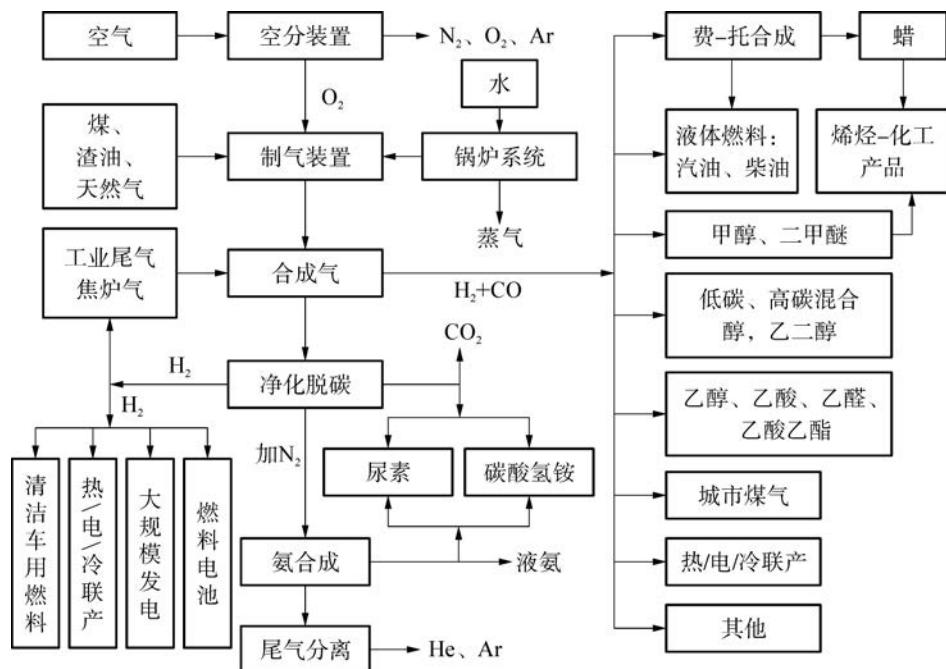


图 6-4 合成氨与各种能源转化联产示意图

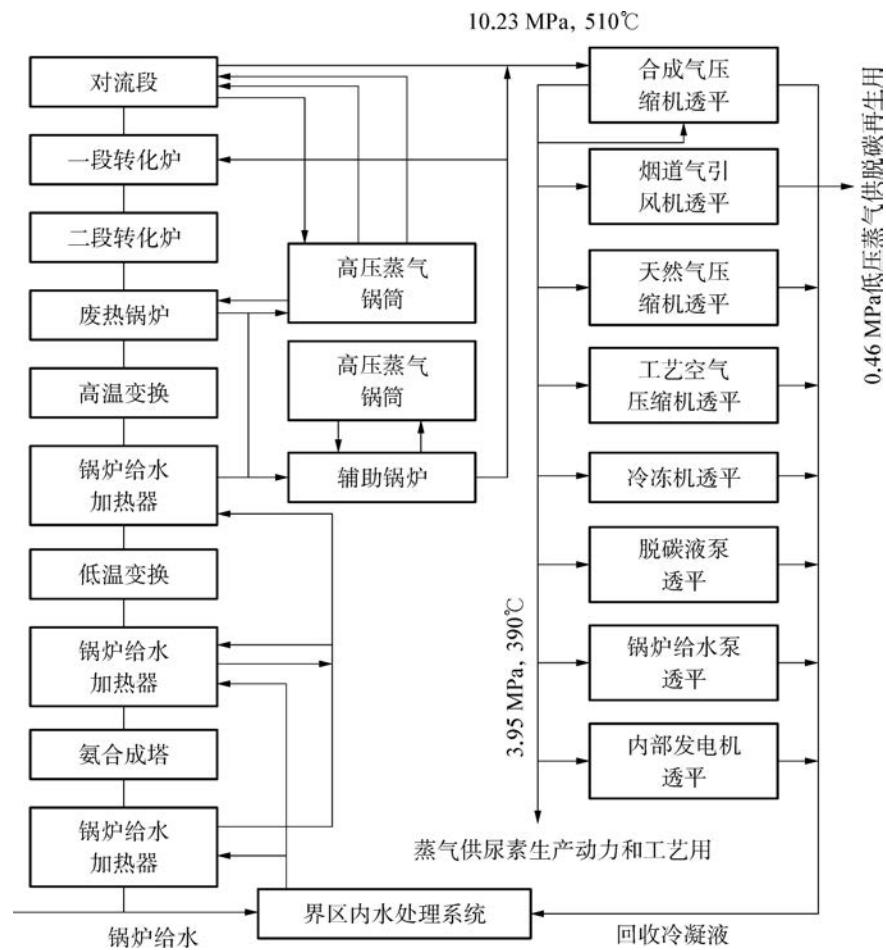


图 6-5 合成氨余热回收与梯级利用示意图

统有机地结合在一起，整个工艺系统可以说就是一个能量综合利用系统。在余热回收系统中，它把工艺过程各个阶段可以回收利用的余热，特别是一些低位热能加以统筹安排，依据能级的高低、热量的多少，逐级预热锅炉给水，最后转变成高能级的高温、高压蒸气。在梯级利用方面，将蒸气按压力分成 10.0 MPa、3.9 MPa、0.46 MPa 等几个等级。10.0 MPa 的高压蒸气首先作为背压式汽轮机的动力，抽出部分 3.9 MPa 的中压蒸气作为转化工艺蒸气之用，其他 3.9 MPa 的中压蒸气仍作为动力之用。0.46 MPa 的低压蒸气做加热、保温用，而透平冷凝液和工艺冷凝液的冷凝热也几乎得到全部回收，冷凝液返回锅炉给水系统，构成热力循环系统。

在合成氨的生产过程中，从制气、净化到合成，主要的化学反应都是通过多相催化过程完成的，催化剂起着极为重要的作用。其中以天然气为原料，用蒸气转化法生产合成氨的大型氨厂所用的催化剂有八种之多。催化剂活性的高低对于经济收益的影响极为关键，主要体现在增产、节能、降耗和开工率的影响。由图 6-6 可以清楚地知道，增加氨产量可以获取更为显著的效益。例如，采用新型高效催化剂使氨产量从设计值 1 000 t / 天提高到 1 100 t / 天，则利润从 10 万元 / 天增加到 16 万元 / 天，即 1 000 t / 天时的氨利润为 100 元 /t，而增产的 100 t / 天的利润为 600 元 /t，后者的利润是前者的 6 倍。因此，增产是企业获取利润的主要途径，而采用新型高效催化剂是实现增产的最有效的措施。

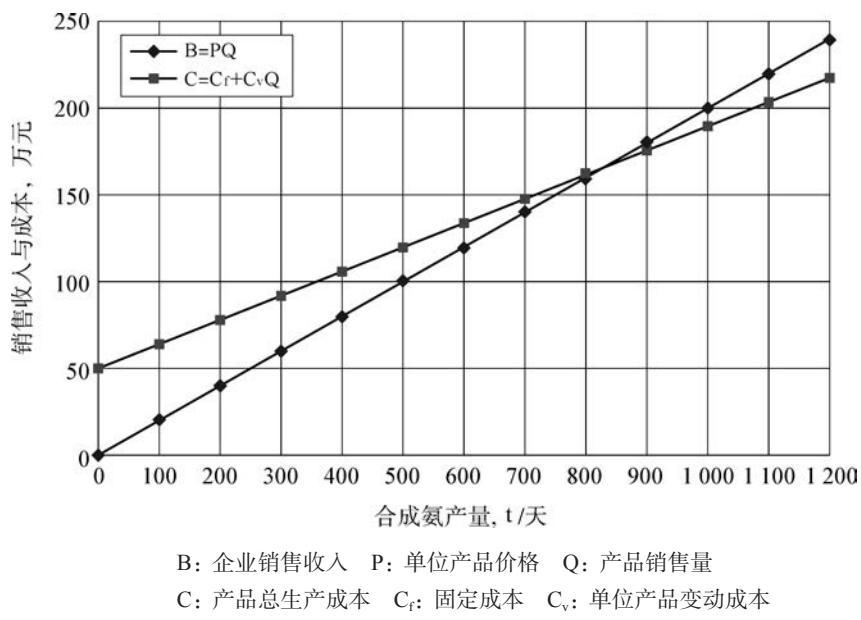


图 6-6 合成氨工厂盈亏平衡曲线

催化剂的设计开发是工艺技术改造和节能减排的核心技术。国际上，主要是通过开发高效低温低压催化剂，实现节能型低压合成氨工艺技术。高效催化剂为核心技术的低能耗氨合成新工艺技术。采用工艺参数调优设计的方法，在不改变现有的工艺流程情况下，可利用催化剂的高活性，降低三大机组的总功耗。如对于 20 万吨 / 年合成氨装置，当压力由 30 MPa 降低到 15 MPa，总动力功率降低 3 529.9 kW，氨能耗降低 1.505 GJ/t 或节约标煤 51.3 kgce/t，节能效率达到 12.34%。相应地，每年可节电 2 542 万千瓦时 / 年，或年可节煤 1.03 万吨标煤 / 年，减排 CO<sub>2</sub> 2.36 万吨 / 年。对于全国 5 700 万吨 / 年合成氨，则每年可节电 72.45 亿千瓦时，或年可节煤 295.8 万吨标煤，减排 CO<sub>2</sub> 672.6 万吨。

#### 4. 合成气的转化

自然界的化学反应可以一万年、十万年顺其自然地持续下去，而在实际生产中要讲效益，为了提高单位时间内的产量，总希望反应进行得越快越好。所以就要研究化学反应的速率问题。反应速率的快慢和一个反应所经历的具体历程，即反应机理有关。有时候，两种反应物在不同条件下发生反应可以形成完全不同的产物。例如温度不同、用不同的催化剂，一氧化碳和氢气组成的合成气，会发生不同的反应。目前，合成气作为十分重要的 C1 化学平台分子，将其高选择性地转化为碳氢化合物特定目标产物是 C1 化学核心。在经典费托合成过程中，C—C 键的生长服从聚合机理，目标产物选择性低。近年来研究者通过设计金属（氧化物）和分子筛构筑的双功能或多功能催化剂，利用接力催化策略对不同反应进行耦合，成功实现了合成气高选择性制液体燃料如汽油、航空煤油、柴油及大宗化学品如低碳烯烃、芳烃、含  $C_{2+}$  化合物。

富煤、贫油是我国能源分布的特点，长期以来我国依靠进口原油来满足能源以及重要有机化学品的需求。2019 年，我国进口石油 5.1 亿吨，对外依存度超过 70%。因此发展高效利用非油基资源的途径来减少对石油资源的依赖。大量研究表明以合成气 ( $H_2 + CO$ ) 为平台分子，将煤、气（天然气、页岩气以及煤层气）和生物质转化为液体燃料（汽油、航空煤油和柴油）和大宗化学品如低碳烯烃（乙烯、丙烯和丁烯）芳烃以及  $C_{2+}$  含氧化合物（乙酸甲酯、乙酸和乙醇）是一条切实可行的路径。

合成气制汽油：合成气经费托过程制液体燃料产物分布广，特定馏分选择性低。根据 ASF 分布模型，汽油 ( $C_5 \sim C_{11}$ )、航煤 ( $C_8 \sim C_{16}$ ) 和柴油 ( $C_{10} \sim C_{20}$ ) 经费托合成过程的极限选择性分别为 48%、41% 和 40%。为了提高合成气直接转化产物中液体燃料选择性，研究者们通过接力催化方式将费托合成与加氢裂解 / 异构化反应进行耦合，设计的双功能催化剂成功实现了合成气直接高选择性制液体燃料，产物选择性成功突破了 ASF 分布限制。如 Tsubaki 课题组<sup>[1, 2]</sup> 报道了一系列以  $Co/SiO_2$  或者  $Co/Al_2O_3$  为核，以分子筛 ZSM-5 或者 Beta 为壳的核壳双功能催化剂用于合成气制汽油的研究，这些催化剂表现出 60%~70% 的  $C_5 \sim C_{11}$  选择性。Sun 等人采用铁铝合金作为铁前驱体和铝源，在水热合成 Raney Fe@H-ZSM-5 时，在合成气转化中，Raney Fe@H-ZSM-5 展现出 93% 的 CO 转化率，71% 的  $C_5 \sim C_{11}$  选择性。Cheng 等人采用相似的策略制备出 Ru/meso-Beta 双功能催化剂，当 meso-Beta 介孔尺寸为 4.4 nm 时，表现出 77% 的  $C_5 \sim C_{11}$  选择性以及 2.7 的  $C_{iso}/C_n$  比。

与原油提炼的柴油相比，通过合成气制备的柴油中硫含量以及芳烃含量更低。因此来源于合成气制得的柴油更易满足日益严格的环境法规标准。由于 ASF 分布限制，传统费托催化剂上  $C_{10} \sim C_{20}$  柴油馏分选择性不超过 40%。研究表明可以通过 B 酸位的介孔分子筛将  $C_{21+}$  高碳烃进行裁剪，一定程度上可以提高  $C_{10} \sim C_{20}$  选择性，如  $Co/H\text{-meso-Y}$  催化剂表现出 47% 的  $C_{10} \sim C_{20}$  选择性，高于传统费托催化剂  $Co/SiO_2$  或者  $Co/Al_2O_3$ 。但是高碳烃在酸性分子筛上也会发异构化，导致大量异构烃的生成。Peng 等人<sup>[3]</sup> 发现无酸性的  $Co/Na\text{-meso-Y}$  催化剂在合成气转化反应中表现出优异的  $C_{10} \sim C_{20}$  选择性，在 230 °C， $H_2/CO=2$ 、3 MPa 反应条件下， $C_{10} \sim C_{20}$  选择性达到 60%。Kang 等人<sup>[4]</sup> 将 MnO 引入  $Co/Na\text{-meso-Y}$  催化剂中，当 Mn/Co 比为 0.21 时， $C_{10} \sim C_{20}$  和  $C_{10+}$  选择性分别达到 65% 和 83%。另外  $Co\text{-Mn/Na-meso-Y}$  催化剂展现出优异的稳定性，在反应 1 000 h 后未见失活。Cheng 等人通过调变封装在介孔  $SiO_2$  中 Co 的粒径来改变液体馏分选择性。研究发现，具有 7.2 nm 粒径的  $Co@meso-SiO_2$  催化剂可以得到 66% 的  $C_{10} \sim C_{20}$  选择性，而在 11.4 nm 的  $Co@meso-SiO_2$  催化剂上具有更高的  $C_5 \sim C_{11}$  选择性（62%）。Li 等人通过简单的离子交换来调整 meso-Y 分子筛的酸性。研究发

现, Y型分子筛的介孔结构和酸性质是调控产物选择性的关键。在保证活性金属钴的还原度、粒径大小以及分布相似条件下, Ce、La、K改性的Co/meso-Y催化剂分别展现出74%、72%和58%的汽油、航空煤油和柴油选择性。

大宗化学品例如低碳烯烃、芳烃被广泛用于生产塑料、合成橡胶以及医药等生活必需品; C<sub>2+</sub>含氧化合物(包括乙酸甲酯、乙酸和乙醇)可用作燃料添加剂、食品调味剂以及绿色有机溶剂等方面。以合成气为原料, 现行的工艺一般通过甲醇平台分子多步法制备大宗化学品(图6-7①路线)。尽管多步法中目标产物选择性高, 但繁琐的工艺以及高的能耗增加了生产成本。虽然可以利用改性费托催化剂直接制备化学品, 但目标产物选择性较低, 一般不超过60% (图6-7②路线)。近年来, 研究者利用接力催化策略, 将多步法中各个步骤耦合在一起, 成功实现了合成气直接高选择性制大宗化学品(图6-7③路线)。

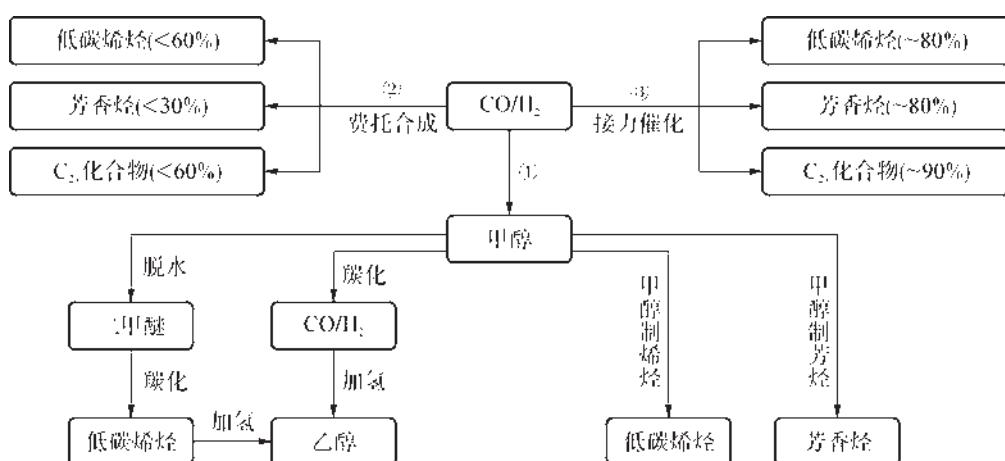


图6-7 合成气制大宗化学品的路径图

很长一段时间, 研究人员主要通过改性费托催化剂来提高合成气转化产物中低碳烯烃选择性。de Jong团队<sup>[5]</sup>通过Na和S对负载型Fe催化剂进行修饰, 在低CO转化率(1%左右)时, 低碳烯烃选择性高达61%。北京大学马丁团队<sup>[6]</sup>以Zn作为结构助剂, Na作为电子助剂, 合成具有尖晶石结构的Fe-Zn-0.81Na三元催化剂, 在340℃、1 MPa反应条件下, CO转化率为77%, 总烯烃选择性维持在79%。但低碳烯烃选择性仅为38%。理论上, 将具有合成气制甲醇(syngas to methanol, STM)和甲醇制烯烃(methanol to olefins, MTO)功能的催化组分整合在一起, 有可能实现低碳烯烃的直接高选择性合成。2016年, 包信和团队<sup>[7]</sup>报道了一种由ZnCrO<sub>x</sub>氧化物和介孔SAPO-34(MSAPO)组成的双功能催化剂用于合成气转化研究。他们发现该催化剂表现出优异的低碳烯烃选择性, CO转化率为17%, 低碳烯烃选择性达到80%。Cheng等人通过对反应条件以及催化剂组成的优化, 双功能催化剂上CO单程转化率能达到40%, 低碳烯烃选择性维持在80%。Tan等人通过简单的物理封装法, 设计了一种高效的核壳结构Zn-Cr@SAPO双功能催化剂, 该催化剂表现出64%低碳烯烃选择性以及10%CO转化率。

**合成气制芳烃:**传统方法通过两步, 先把合成气转化为甲醇, 再通过甲醇芳构化(methanol to aromatics, MTA)反应得到芳烃。这一过程工艺繁琐且甲醇制芳烃催化剂积碳失活严重。通过接力催化方式, 将合成气制甲醇或者合成气制烯烃催化剂与H-ZSM-5耦合, 有望实现合成气直接高选

择性制芳烃。de Jong 课题组以双床层方式将 Na、S 修饰的 Fe 基催化剂与 HZSM-5 进行耦合，展现出 70%~80% 的烯烃与芳烃总选择性，其中芳烃选择性为 27%。马丁团队将高选择性制烯烃的 Na-Zn-Fe<sub>5</sub>C<sub>2</sub> 催化剂与具有多级孔的 H-ZSM-5 以颗粒方式进行混合，实现了 CO 转化率为 85%，芳烃选择性为 51% 的优异性能，芳烃单程收率达到 33%。王野课题组构建了一种由 ZnO-ZrO<sub>2</sub> 氧化物和 H-ZSM-5 分子筛组成的双功能催化剂，表现出 20% 的 CO 转化率和 80% 的芳烃选择性。Cheng 等人<sup>[8]</sup>进一步考察了反应气氛 N<sub>2</sub>、H<sub>2</sub> 以及 CO 对 ZnO-ZrO<sub>2</sub>/H-ZSM-5 双功能催化剂上 MTA 反应的影响。当把反应气氛切换为 CO 时，芳烃选择性明显提高到 34%，且芳烃选择性随着 CO 气氛压力升高而增加，2 MPa 时，芳烃选择性达到 75%。Zhou 等人通过不同金属元素对 ZrO<sub>2</sub> 的修饰来调控氧化物的加氢能力，发现具有中等加氢能力的 MoO<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub> 氧化物表现出最高的芳烃时空收率，在 3 000 mL/(h · g<sub>cat</sub>) 高空速下，芳烃选择性维持在 75%。芳烃产物中的苯、甲苯、二甲苯（BTX）对于化工生产尤为重要，因此很有必要提高 BTX 选择性。双功能催化剂上 BTX 在芳烃中含量一般不超过 40%，主要产物为三甲基苯、四甲基苯等重质芳烃，由于重质芳烃分子动力学直径大于 ZSM-5 分子筛微孔孔径，通常认为高碳芳烃是 BTX 在 ZSM-5 分子筛外表面酸性位上发生烷基化产生的。因此毒化外表面酸性位可以有效提高 BTX 选择性。Cheng 等人<sup>[8]</sup>利用化学液相沉积法（chemical liquid deposition, CLD）对表面酸进行毒化处理。通过将大于分子筛微孔孔道的正硅酸乙酯（tetraethoxysilane, TEOS）沉积在外表面。经煅烧后，TEOS 热解形成无定型 SiO<sub>2</sub> 覆盖层而毒化外表面酸性位。进行 3 次 CLD 处理后，BTX 选择性由原来的 30% 提升至 60%。

目前文献报道的催化剂主要以修饰的 Rh 基催化剂以及双金属催化剂如 Cu-Co、Cu-Fe 等为主，通过调控解离以及非解离 CO 的活性位来实现 C<sub>2+</sub> 含氧化合物的合成，但该类催化剂上 C<sub>2+</sub> 含氧化合物选择性普遍偏低（总选择性低于 60%）。研究发现，尖晶石结构的 ZnAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 氧化物可在较高温度（340~370℃）下直接催化合成气制二甲醚，与 H-MOR 耦合组成的 ZnAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/H-MOR 催化剂上表现出 11% 的 CO 转化率以及 87% 的乙酸甲酯和乙酸总选择性。而精心设计三步接力催化体系的各个组分，保证各个阶段反应产物（甲醇、乙酸）选择性最大化是实现高选择性制乙醇的关键。首先，K<sup>+</sup> 修饰后的 ZnO-ZrO<sub>2</sub> 固溶体表面酸性弱，可以有效避免甲醇脱水生成二甲醚。在 310℃ 反应温度下，K<sup>+</sup>-ZnO-ZrO<sub>2</sub> 上甲醇选择性为 93%。当 K<sup>+</sup>-ZnO-ZrO<sub>2</sub> 与 H-MOR 进行组合时，表现出可观的乙酸选择性。高温蒸气水处理选择性脱除十二元环孔道中的 Al（记为 H-MOR-DA-12MR），可以抑制十二元环孔道中 MTH 反应的发生，进一步提高乙酸选择性，K<sup>+</sup>-ZnO-ZrO<sub>2</sub>/H-MOR-DA-12MR 催化剂上乙酸选择性可达 84%。最后，引入加氢组分 Pt-Sn/SiC 催化剂，将乙酸通过加氢反应制得乙醇。合成气氛围下，K<sup>+</sup>-ZnO-ZrO<sub>2</sub>/HMOR-DA-12MR/Pt-Sn/SiC 催化剂在 CO 转化率为 10%、4% 以及 0.7% 时，乙醇选择性可以分别到达 64%、81% 以及 90%。

## 参考文献

- [1] BAO J, HE J J, ZHANG Y, et al. A core/shell catalyst produces a spatially confined effect and shape selectivity in a consecutive reaction [J]. Angewandte Chemie International Edition, 2007, 47(2): 353–356.
- [2] 周伟, 成康, 张庆红, 等. 合成气转化中的接力催化 [J]. 科学通报, 2021, 66 ( 10 ): 1157–1169.

- [ 3 ] PENG X B, CHENG K, KANG J C, et al. Impact of hydrogenolysis on the selectivity of the Fischer-Tropsch synthesis: diesel fuel production over mesoporous zeolite-Y-supported cobalt nanoparticles [ J ]. *Angewandte Chemie International Edition*, 2015, 54(15): 4553–4556.
- [ 4 ] CHENG Q P, TIAN Y, LYU S S, et al. Confined small-sized cobalt catalysts stimulate carbon-chain growth reversely by modifying ASF law of Fischer-Tropsch synthesis [ J ]. *Nature Communications*, 2018, 9: 3250.
- [ 5 ] TORRES GALVIS H M, BITTER J H, KHARE C B, et al. Supported iron nanoparticles as catalysts for sustainable production of lower olefins [ J ]. *Science*, 2012, 335(6070): 835–838.
- [ 6 ] ZHAI P, XU C, GAO R, et al. Highly tunable selectivity for syngas-derived alkenes over zinc and sodium-modulated Fe<sub>5</sub>C<sub>2</sub> catalyst [ J ]. *Angewandte Chemie International Edition*, 2016, 55(34): 9902–9907.
- [ 7 ] JIAO F, LI J J, PAN X L, et al. Selective conversion of syngas to light olefins [ J ]. *Science*, 2016, 351(6277): 1065–1068.
- [ 8 ] CHENG K, GU B, LIU X L, et al. Direct and highly selective conversion of synthesis gas into lower olefins: design of a bifunctional catalyst combining methanol synthesis and carbon-carbon coupling [ J ]. *Angewandte Chemie International Edition*, 2016, 55(15): 4725–4728.

# 本章习题分析与答案

## 6.1 化学反应速率

题号	知识点	答案(以及必要的解题思路提示)
1	决定化学反应速率大小的因素	C
2	生产、生活中有关化学反应速率的问题	C
3	化学反应速率的概念	D
4	化学反应速率的计算	$v(C) = 0.12 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ $\Delta c(B) = \frac{\Delta n(B)}{V} = \frac{(2.0 - 1.2) \text{ mol}}{10 \text{ L}} = 0.08 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ $v(B) = \frac{\Delta c(B)}{\Delta t} = \frac{0.08 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{2 \text{ min}} = 0.04 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ $v(C) = 3v(B) = 0.12 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
5	化学反应速率的影响因素	(1) 其他条件相同时, 反应温度越高, 化学反应速率越大 (2) ②③ (3) 反应物状态、反应温度 (4) 取相同质量的锌片在 25℃ 下分别与 0.1 mol · L⁻¹ 和 0.01 mol · L⁻¹ 的稀盐酸反应, 比较收集 100 mL 氢气所需的时间

## 6.2 化学平衡

题号	知识点	答案(以及必要的解题思路提示)
1	可逆反应的概念	C。电解水的反应条件与 H₂ 和 O₂ 反应生成水的反应条件不同
2	化学反应平衡状态的判断	D。当反应达到平衡状态时, N₂、H₂、NH₃ 的分子数之比可能是 1 : 3 : 2, 也可能不是; N₂、H₂、NH₃ 的浓度可能相同, 也可能不同, 这与各物质的初始浓度及转化率有关, 故选项 A 和 C 都不能反应达到平衡状态
3	化学反应速率的计算及化学反应平衡状态的判断	(1) $v(\text{SO}_2) = \frac{\Delta c(\text{SO}_2)}{\Delta t} = \frac{(0.20 - 0.16) \text{ mol}}{2 \text{ L}} = 1.3 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (2) 15~20 min、25~30 min (3) $c(\text{O}_2)$ 减小、 $c(\text{SO}_2)$ 减小、 $c(\text{SO}_3)$ 增大
4	化学平衡的移动	(1) 化学平衡向正反应方向移动 (2) 化学平衡向逆反应方向移动 (3) 化学平衡向逆反应方向移动

### 6.3 化工生产

题号	知识点	答案(以及必要的解题思路提示)
1	硫酸工业中的废气处理	A
2	化学反应速率和化学平衡在工业生产上的应用	C
3	硫酸工业中的废水处理	C
4	化工生产的基本思想	(1) CO <sub>2</sub> CaO (2) 该工艺流程的主要优点在于产生的CO <sub>2</sub> 进行循环利用、得到产物和副产品都具有一定的利用价值、工厂与合成氨厂相邻能节约成本等，但该流程中由于硫酸钙的溶解度不大，此反应的产率不高

### 本章复习

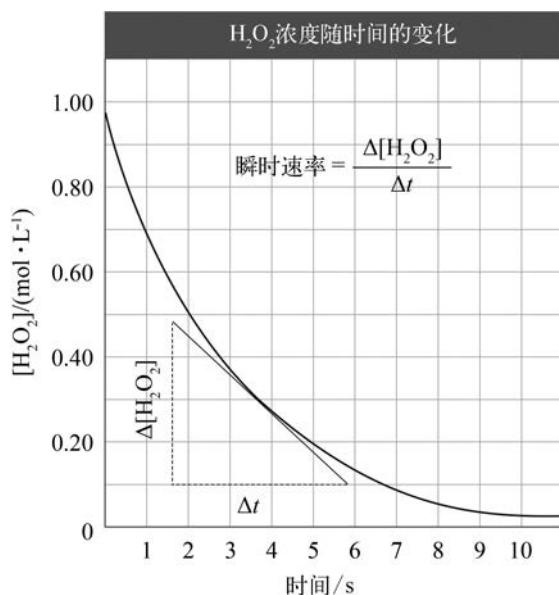
题号	知识点	答案(以及必要的解题思路提示)
1	硫的物理性质	硫不溶于水，很难与Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> 溶液接触而反应，当用乙醇湿润后，因乙醇易溶于水，增加了硫粉与水的接触面积，从而提高了反应速率，增加了Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 的日产量
2	化学反应速率的影响因素	(1) 曲线A表示反应的温度最高。分析图可知产生相同量的二氧化碳气体，曲线A所消耗的时间最少，因为其他条件都相同时，温度越高，反应速率越大 (2) 曲线B中1~2 min的反应速率持续增大，2 min后反应速率逐渐减小并趋于不变 (3) 其他条件不变，使用碳酸钙粉末；其他条件不变，增大稀盐酸的浓度
3	应用化学反应速率和化学平衡知识解释合成氨工业上的问题	(1) 生产中使用铁催化剂是为了加快反应速率，缩短反应达到平衡的时间。当正逆反应速率相同时，反应达到平衡状态，此时混合体系中各物质的含量不再改变 (2) N <sub>2</sub> 、H <sub>2</sub> 。降温使氨气液化分离 * (3) 压强相同时，升高温度，平衡时NH <sub>3</sub> 的质量分数减小；温度相同时，增大压强，平衡时NH <sub>3</sub> 的质量分数增大 * (4) 压强过大，超过设备材料的承受能力，且需要消耗大量能源。100℃时，转化率较高但温度较低，无法达到催化剂的最佳活化温度，反应速率较慢
4	反应速率的计算	$v(N_2) = \frac{\Delta V(N_2)}{\Delta t} = \frac{70\text{ L}}{0.04\text{ s}} = 1.75 \times 10^3 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ $v(NaNaN_3) = \frac{\Delta m(NaNaN_3)}{\Delta t} = \frac{130\text{ g}}{0.04\text{ s}} = 3.25 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$
5	化学平衡在生活中的应用	(1) 高原的氧气浓度较低，因此反应平衡会向逆反应方向移动，导致体内的氧合血红蛋白浓度降低 (2) 给患有高山症的病人吸氧，即增大氧气的浓度，促使反应平衡向正反应方向移动，可增大体内的氧合血红蛋白浓度
6	化学平衡在工业上的应用	(1) $\text{CO} + 2\text{H}_2 \xrightleftharpoons[400^\circ\text{C}, 3 \times 10^7 \text{ Pa}]{\text{ZnO/Cr}_2\text{O}_3} \text{CH}_3\text{OH}$ (2) 改进后反应需要的温度和压强更小，有利于节约能源，同时对设备的要求更低，降低了生产的成本

\*7. 译文如下：

对于一个化学家来说，只知道平均反应速率是不够的。有时药剂师在研发新药物时需要知道反应过程中特定时刻的反应进程。以过氧化氢 ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) 为例，分解反应的化学方程式如下：



该反应中  $\text{H}_2\text{O}_2$  浓度随时间的下降如下图所示。图中曲线显示反应速率是如何随着反应的进行而降低。瞬时速率是指特定时刻的反应速率，它在图表中表现为某一特定时刻与曲线相切的直线的斜率，它的表达式为  $\frac{\Delta[\text{H}_2\text{O}_2]}{\Delta t}$ 。换句话说， $\text{H}_2\text{O}_2$  的浓度在特定时刻的变化率可以通过图上的特定点体现出来。



$$\text{直线的斜率} = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

$$\text{瞬时速率} = \frac{\Delta [\text{H}_2\text{O}_2]}{\Delta t}$$

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\Delta [\text{H}_2\text{O}_2]}{\Delta t}$$

如果知道给定温度下的反应物浓度，并知道实验确定的速率定律和该温度下的比速率常数，你还可以用另一种方法确定一个反应的瞬时速率。

(1) 你知道平均反应速率和瞬时速率的区别是什么吗？

(2) 通过什么方式可以得到化学反应的瞬时速率？

# 第7章 常见的有机化合物

## 本 章 概 述

### ► 本章地位和内容结构

#### 一、本章地位

自然界和人工合成的物质中，绝大多数为有机化合物，人类的衣食住行也与有机化合物密切相关。高中必修教材在本章之前并未涉及有机化合物，在初中有机化合物常识的基础上，通过本章内容帮助学生从组成、结构的角度对有机化合物和有机反应形成初步的整体认识。

本章选取不同类别的有机化合物代表物，如甲烷、乙醇、乙酸、糖、油脂和蛋白质等，引导学生学习有机化合物的组成、结构、性质及其转化。这些有机化合物与学生的生活实际联系密切，可激发学生的学习兴趣。通过本章的学习，学生能运用所学知识解释生产、生活中的一些现象，也为后续选择性必修阶段进一步从有机化合物的类别角度进行有机化学的系统学习奠定基础。

#### 二、《课程标准》要求

本章内容与《课程标准》“课程内容”中“必修课程”的“主题4：简单的有机化合物及其应用”直接对应，具体对该主题的“有机化合物的结构特点”“典型有机化合物的性质”“有机化学研究的价值”“学生必做实验”四个部分的内容。本章的具体内容要求和学业要求见表7-1。

表7-1 第7章内容要求和学业要求

内容要求		学业要求
有机化合物的结构特点	知道有机化合物分子是有空间结构的，以甲烷、乙烯、乙炔、苯为例认识碳原子的成键特点，以乙烯、乙醇、乙酸、乙酸乙酯为例认识有机化合物中的官能团。知道有机化合物存在同分异构现象。	能辨识常见有机化合物分子中的碳骨架和官能团。能概括常见有机化合物中碳原子的成键类型。能描述甲烷、乙烯、乙炔的分子结构特征，并能搭建甲烷和乙烷的立体模型。能写出丁烷和戊烷的同分异构体。
典型有机化合物的性质	认识乙烯、乙醇、乙酸的结构及其主要性质与应用；结合典型实例认识官能团与性质的关系，知道氧化、加成、取代、聚合等有机反应类型。知道有机化合物之间在一定条件下是可以转化的。	1. 能描述乙烯、乙醇、乙酸的主要化学性质及相应性质实验的现象，能书写相关的反应式，能利用这些物质的主要性质进行鉴别。 2. 能从有机化合物及其性质的角度对有关能源、材料、饮食、健康、环境等实际问题进行分析、讨论和评价。能妥善保存、合理使用常见有机化学品。

内容要求		学业要求
有机化学研究的价值	知道合成新物质是有机化学研究价值的重要体现。结合实例认识高分子、油脂、糖类、蛋白质等有机化合物在生产、生活中的重要应用。	能列举合成高分子、油脂、糖类、蛋白质等有机化合物在生产、生活中的重要应用，并结合这些物质的主要性质进行简单说明。
学生必做实验	1. 搭建球棍模型认识有机化合物分子结构的特点。 2. 乙醇、乙酸的主要性质。	1. 能搭建甲烷和乙烷的立体模型。 2. 能描述乙烯、乙醇、乙酸的主要化学性质及相应性质实验的现象。

本章学习主要促进学生“宏观辨识与微观探析”“证据推理与模型认知”“变化观念与平衡思想”“科学探究与创新意识”和“科学态度与社会责任”等方面的化学学科核心素养的发展。本章的学科核心素养要求如下：

- 能从分子水平认识甲烷、乙烯、乙炔、苯等有机化合物中碳原子的成键特点，以乙醇、乙酸、乙酸乙酯为例认识有机化合物中的官能团，能根据官能团对有机化合物进行简单的分类，并从官能团角度说明物质的性质差异及其原因。能从微观角度理解同分异构现象是造成有机化合物数量庞大的重要原因之一。
- 能从有机反应的特征认识化学变化的多样性，形成化学变化是有条件的观念，知道有机化合物之间在一定的条件下可以相互转化，并能运用立体模型、结构式等来表示有机化合物及其化学变化。
- 能针对有关乙醇、乙酸等的性质提出探究问题，设计简单的实验方案，完成实验，观察物质及其变化的现象，客观地进行记录，对实验现象做出解释。
- 能根据糖类、油脂、蛋白质等有机化合物在生产、生活中的重要作用，形成将所学化学知识应用于生产、生活的意识。通过天然气、石油、煤等自然资源的综合利用对社会发展的价值分析，主动关注与环境保护、资源开发等有关的社会热点问题，形成保护环境、合理利用自然资源和可持续发展的观念。

### 三、教材内容结构

本章内容包括饱和烃，不饱和烃，乙醇和乙酸，糖、油脂和蛋白质等知识。教材编写的内容结构如图 7-1 所示。

本章教学内容的编写突出“结构决定性质，性质反映结构”的化学学科观念，从整体教学内容编排来看，首先，以贴近学生生活实际的天然气入手，引出饱和烃的相关知识，并以最简单的有机化合物甲烷为例，介绍烷烃的主要物理性质和化学性质。其次，由石油化工、煤化工等内容，引出不饱和烃的相关知识，介绍不饱和烃中碳原子的成键特点以及代表物乙烯的化学性质等。接着，再从身边最常见的含氧有机化合物乙醇和乙酸入手，介绍烃的衍生物以及官能团的相关知识。最后，介绍糖类、油脂、蛋白质等较为复杂的有机化合物。

本章内容是学生在必修课程阶段了解有机化合物性质的重要学习内容，但本章内容并不要求全方位展现有机化学的学科知识体系，在教学的内容安排上有所侧重，对几种代表物进行介绍，对复杂的有机化合物则主要从材料或营养物质出发进行选择学习，突出有机化学的社会价值。

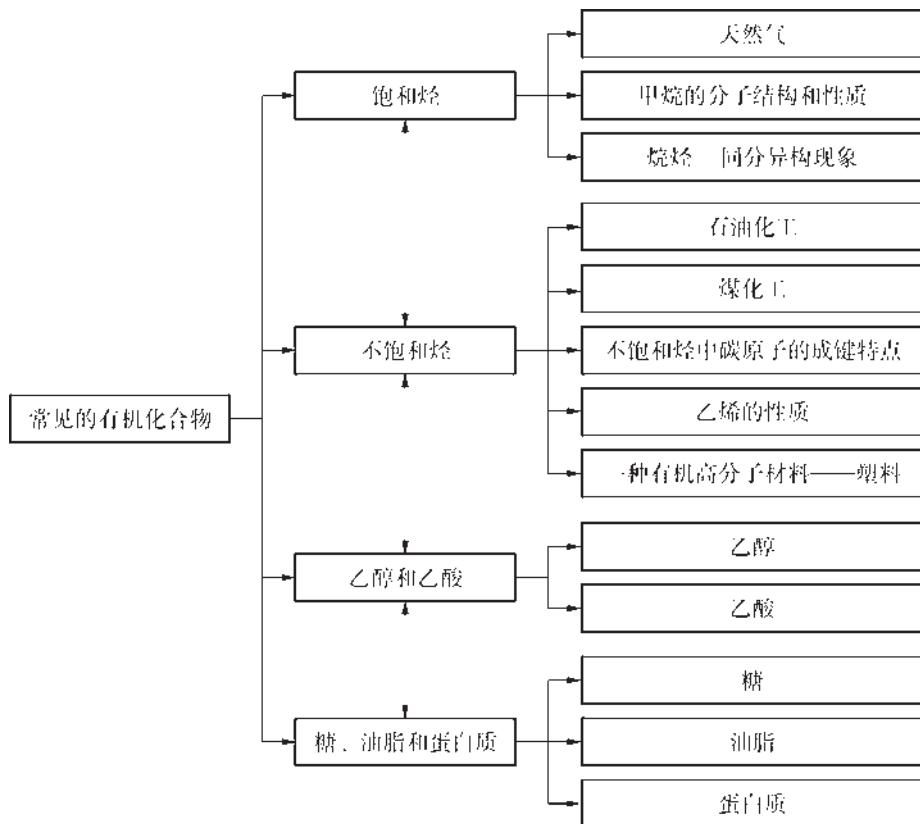


图 7-1 第 7 章内容结构

## 本章教学与课时建议

### 一、教学建议

有机化合物在自然界中广泛存在，且种类繁多、性质各异，与我们的生活和生产紧密关联。但是，从化学角度而言，学生对于有机化合物的概念、组成、结构和性质又是相对陌生的。所以本章的核心是运用之前学到的原子结构和化学键的相关知识，通过引导学生关注有机化合物的结构与性质的关系及反应的特点，开展与生产、生活紧密联系的重要有机化合物的主要性质及有机化学启蒙知识的教学，也为选择性必修课程的学习奠定基础。

本章的教学可以从以下两个角度展开：

第一，本章各节均体现了“从社会、生活到化学”，再“从化学到社会、生活”的理念，将日常生活中熟悉的物质与相关的化学概念和化学理论联系起来，引导学生自主建构新的认知框架，形成对有机化合物的新的认知。例如，从西气东输工程引出甲烷及饱和烃；从石油和煤的综合利用引出不饱和烃；从我国悠久的酿造技术引出乙醇和乙酸；从人体必需的营养素引出糖、油脂和蛋白质。同时，在教学过程中进一步引导学生关注有机化合物与人们的生产和生活的密切联系，了解健康饮食、能源的可持续开发、绿色低碳生活等实际问题。所以，教师在选择和组织本章教材内容时，尽可能体现以下的一些方面：①有机化学的基础知识和基本方法；②反映有机化学与生活、生产、社会、环境及其他科技领域的广泛联系和相互影响；③选用具有 STSE 教育价值的学习素材，如可燃冰的开采、饮酒问题、

塑料回收与可降解塑料等。

第二，本章内容是学生有机化学学习的启蒙阶段，因此需要通过“实验探究”“想一想”“书写表达”等栏目使学生进一步加深对“结构决定性质，性质反映结构”的化学学科观念的理解，形成对有机化合物结构和性质的基本认识。教学基本思路可以是：“分析结构→辨识分子结构中的官能团→分析性质→对比反应物与生成物的结构差异→建立官能团结构特点与有机反应的关联”。教学时引导学生通过对比反应物、生成物的思路对含有特征官能团的有机化合物性质进行推断预测和分析解释，并用实验验证典型官能团的特征反应。通过探究、归纳、总结等过程，使学生能基于简单的有机化合物的具体知识，认识有机化合物与无机化合物在结构、性质、反应规律上的差异。

## 二、课时建议

7.1 饱和烃	2 课时
7.2 不饱和烃	2 课时
7.3 乙醇和乙酸	3 课时
7.4 糖、油脂和蛋白质	2 课时
学生必做实验 制作甲烷等分子空间结构的模型	0.5 课时
乙醇、水与钠反应的实验对比、乙醇的催化氧化、乙酸的化学性质	1.5 课时

## 7.1 饱和烃

### 教学目标

1. 通过模型搭建的方法从分子水平认识甲烷、乙烷等烷烃中碳原子的成键特点，从微观的化学键视角探析有机化合物的分子结构，形成对有机分子结构的基本认识。
2. 了解烷烃的同分异构体现象，能运用结构式、电子式、分子模型等展示烷烃分子结构的多样性，解释有机化合物种类及性质的多样性。
3. 了解烷烃的命名法和同系物的概念。以烷烃的代表物——甲烷的结构和性质为模型，描述烷烃的结构和性质。
4. 体会甲烷在能源领域中的应用价值及有机化学对人类社会发展做出的巨大贡献，形成保护环境，合理利用自然资源和可持续发展的观念。

### 教材解析

#### 一、教材设计思路

本节是在初中化学有机化合物常识的基础上，从“西气东输”重大工程引入，以生活中最常见，也是结构最简单的有机化合物——甲烷和最基本的有机化合物类别——烷烃为载体，对有机化学中的一些基本概念和烷烃的结构及性质，按以下三条线索展开教学。

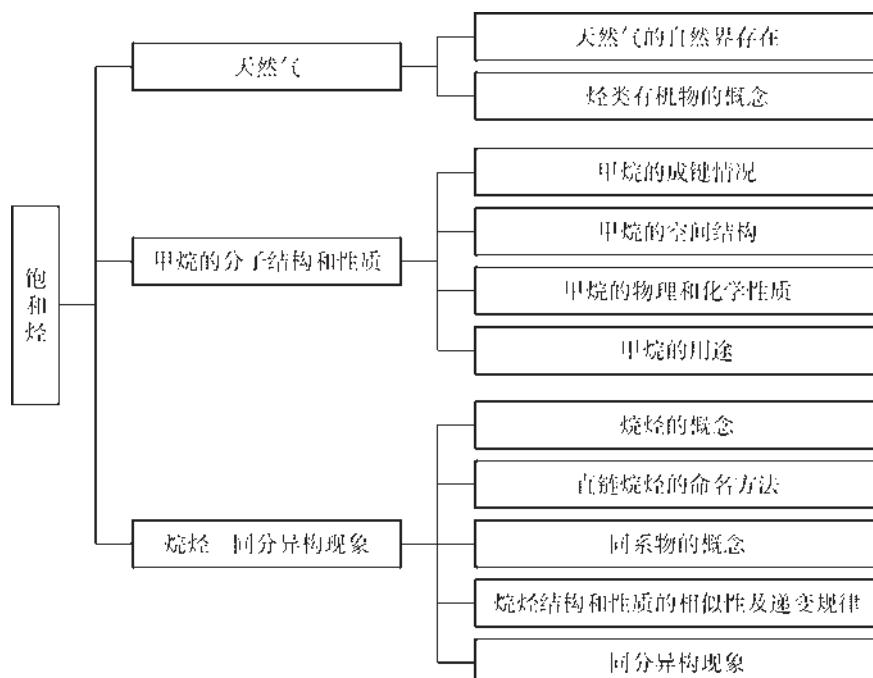
首先是饱和烃的结构和性质。在学生已有原子结构和化学键知识的基础上，从碳原子的微观结构和成键方式入手，通过分子模型搭建的实践过程，利用“想一想”“书写表达”等栏目充分发展学生空间想象力，帮助学生获得有机化合物分子空间结构的直观经验，使学生体会到甲烷衍生到其他烷烃的结构变化规律。此外，甲烷的取代反应是饱和烃的重要性质，在本节教材中，该内容的落脚点是引导学生通过化学键的变化和反应物、生成物分子的结构对比，理解有机反应的过程和特点。

其次是同分异构现象和同系物的概念。同分异构现象是有机化学的核心概念之一，限于学生知识水平和《课程标准》的要求，只以五个碳原子以下的饱和烷烃的同分异构体加以分析说明。同系物也是有机化学的重要概念之一，两者的教学均可以通过鼓励学生利用分子结构模型或计算机软件进行制作、观察简单烷烃的各种结构，加深对同分异构体和同系物概念的理解。通过同分异构现象的学习和了解，帮助学生意识到该现象是有机化合物种类繁多的重要原因之一。

再次是有机化合物“由点到面”的学习方法。前两条教学路线的开展过程中，学生从结构和性质两个角度学习了甲烷及其他烷烃的相关知识，结合同系物之间结构相似的结论，利用“结构决定性质”的观念，将甲烷的化学性质推广并印证得到其他烷烃也具有相似的化学性质。这种“由点到面”的展开思路也为选择性必修教材中有机化合物的学习方法打下基础。

最后需要指出的是，本节的三条教学线索并不是各自独立开展，而是在互相兼顾的基础上，齐头并进，最后使学生掌握有机化合物的一些重要概念，并对有机化合物的性质、结构和有机反应的特点形成初步的认识，构建有机化学体系最基本的框架。

## 二、本节内容结构



### 三、教材分析

## 7.1 饱和烃

本节“饱和烃”是有机化学的第1节，包含许多有机化学的基本概念，教材选择最简单的有机化合物甲烷作为启蒙内容，具有奠基价值，如甲烷的空间结构、碳原子成键特点、取代反应和氧化反应等，教师应该充分利用甲烷这一素材，分析透彻，为学习有机化学打好基础。

天然气目前是我国消耗量较大的化石能源，图7.1和图7.2向我们一一展示，天然气从地下开采输送到地面，进而走进千家万户。

“拓展视野”：教师可以适当拓展可燃冰和页岩气的形成条件、开采运输、应用前景等知识。

天然气、石油和煤等是我们身边重要的矿物燃料和化工原料，蕴藏着许多不同种类的有机物。我们将通过探究这些有机物的结构、性质与应用，开启一段化学分支学科——有机化学的学习旅程。

### 天然气

天然气是一种高效、清洁的气体燃料，主要成分是甲烷。我国天然气矿藏主要分布在新疆、青海等地区，国家“西气东输”重大工程让中西部地区的天然气走进了东部地区的千家万户。



图7.1 西气东输管道



图7.2 家庭天然气的使用

### 拓展视野

#### 可燃冰和页岩气

可燃冰是天然气水合物，是甲烷分子被包进了水分子组成的“笼”中，在海底低温和高压条件下形成的白色结晶体。我国海底可燃冰的储量丰富，科学家们正在努力使其成为一种新的高效清洁能源。



图7.3 可燃冰的燃烧

页岩气是蕴藏于页岩层可供开采的天然气资源。页岩气往往分布在盆地内厚度较大、分布较广的烃源岩地层中。跟常规天然气相比，页岩气具有开采寿命长和生产周期长的特点。除我国外，北美、拉美、中亚等地区也拥有丰富的页岩气资源。

组成有机物的元素除碳、氢外，常有氧，还有氮、硫、卤素、磷等。其中仅含碳和氢两种元素的有机物称为碳氢化合物，也称为烃。甲烷是烃类中分子组成最简单的物质。

71



- 注意教材第70页中有机化合物的定义，辨明有机化合物与烃，烃与甲烷等概念的关系。
- 学生初中就学过简单有机化合物甲烷，包括分子式、与氧气燃烧的反应等内容。教师可引导学生在已有基础上，从元素组成、碳原子成键特点、分子结构、碳氢键的变化等进入有机化学的领域。

## 甲烷的分子结构和性质

甲烷的分子式为 $\text{CH}_4$ ，其中碳原子最外层的4个电子分别与4个氢原子的核外电子各自共用一对电子，形成4个共价单键。甲烷分子中的成键情况可用电子式和结构式来表示〔图7.4(a)(b)〕。

甲烷分子中的1个碳原子和4个氢原子不在同一平面上，而是形成一个正四面体的立体结构。碳原子位于正四面体的中心，而4个氢原子分别位于正四面体的四个顶点上〔图7.4(c)〕。甲烷分子的空间结构还可以分别用球棍模型和空间填充模型来表示〔图7.4(d)(e)〕。

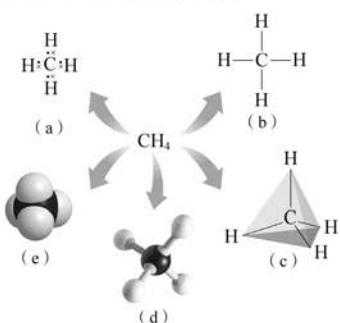


图7.4 甲烷分子的电子式、结构式、正四面体结构示意图、球棍模型、空间填充模型

引导学生关注有机化合物分子结构的各种表达方式。通过分析碳原子结构解释甲烷中的成键情况；通过对甲烷分子模型的观察，引导学生初步建立有机化合物分子具有空间立体结构的观念，明确球棍模型和空间填充模型的特点，为后面搭建模型的实验探究做铺垫。

### 实验探究



### 制作甲烷等分子空间结构的模型



取一个信封直向平放，按图7.5(a)(b)(c)所示进行折叠。

沿 $EC$ 、 $CF$ 将信封上部剪去， $C$ 点在信封反面的对称点为 $C'$ 。将 $CD$ 、 $CA$ 、 $CB$ 线前后反复折几下，形成折痕。撑开信封上端，使 $C$ 与 $C'$ 远离， $D$ 与 $E$ 靠近，直至重合〔图7.5(d)〕。以 $CC'$ 为折线，将 $CFC'$ 所在平面插入立体内与 $CBC'$ 所在平面重叠，即成一个正四面体〔图7.5(e)〕。碳原子位于正四面体的中心，四个氢原子分别位于正四面体的四个顶点。

请你准备一盒分子模型，或利用身边适宜的材料，搭建甲烷分子的球棍模型。在本章后续的栏目中，还安排了搭建乙烯、乙炔、乙醇、乙酸等分子的球棍模型、空间填充模型等，这些活动将帮助你更直观地认识有机物分子结构的特点。

“实验探究”：学生通过实验探究了解甲烷中碳原子、氢原子的空间位置，同时强调了有机化合物学习中各种分子空间结构的模型对认识有机化合物分子结构特点的重要性。



- 教师可引导学生思考讨论“为什么碳原子和四个氢原子形成四个单键”，“甲烷分子结构是平面的还是立体的”等问题，也为后面活动探究中搭建更复杂的有机化合物分子模型奠定基础。
- 一些简单有机化合物的分子模型，也可通过平板或电脑上的一些3D建模软件建模后观察，在条件允许的情况下，可利用3D打印技术打印出分子模型后让学生比较、讨论，激发学生的学习兴趣。
- 学生搭建甲烷分子球棍模型的过程中要强调原子间的相对位置。

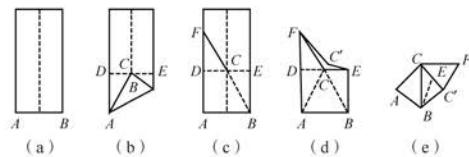


图 7.5 折叠甲烷分子空间结构的模型

引导学生分析甲烷燃烧的化学方程式，并通过相关数据对比，使学生认识到甲烷是一种高效的清洁能源。

甲烷是一种无色、无味的气体，难溶于水。在通常情况下，甲烷是比较稳定的，与强酸、强碱、强氧化剂（如高锰酸钾）等均不发生反应。

纯净的甲烷在空气中燃烧（图 7.6），生成二氧化碳和水。通常状况下，1 mol 甲烷与氧气完全燃烧，生成二氧化碳和液态水时，可以放出 890 kJ 的热量。



图 7.6 甲烷燃烧

### 资料库

#### 甲烷

密度： $0.7168\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  (25 °C)

熔点：−182.5 °C

沸点：−161.5 °C

“拓展视野”：教师可以通过一些生活常识的介绍，进一步加强学生实验规范操作及相关安全防护措施，增强学生安全实验意识。

### 拓展视野

#### 安全使用天然气

家用天然气中加入了少量有特殊气味的含硫或磷元素的物质，可以警示天然气的泄漏。若发生泄漏，人们会闻到这股特殊的气味。施救时，我们要注意不能采取开启金属门窗、开关电器设备、拨打电话等有可能产生火花的做法，应在避免产生火花的情况下，实施关气、通风、救人等应急措施。

除天然气外，沼气、煤坑气（俗称瓦斯）的主要成分也是甲烷，一般点燃甲烷前必须检验其纯度。当空气中甲烷的体积分数在 5%~15% 之间，遇到火花就会发生爆炸。在煤矿的矿井里，要采取通风、严禁烟火等安全措施，避免发生爆炸事故。

在光照条件下，甲烷和氯气发生一系列的反应。首先，甲烷和氯气反应生成一氯甲烷（图 7.7）。

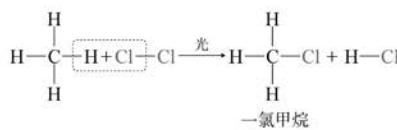
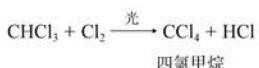
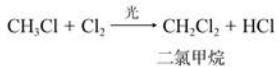


图 7.7 一氯甲烷的球棍模型  
(图中绿球代表氯原子)



- 教师可通过演示实验，如甲烷分别与溴水、高锰酸钾的酸性溶液混合后的实验现象与结果，以及在点燃条件下与氧气的反应，使学生了解甲烷的稳定性与可燃性。
- 建议通过分子结构模型，引导学生掌握甲烷与氯气反应生成一氯甲烷过程中化学键以及分子结构的变化，使学生体会有机反应过程的特点。

一氯甲烷和氯气继续反应生成二氯甲烷，二氯甲烷和氯气反应生成三氯甲烷（也称氯仿），三氯甲烷和氯气再反应生成四氯甲烷（也称四氯化碳）。



上述反应中，甲烷分子中的氢原子被氯原子逐一取代，生成了一系列取代产物和氯化氢。这种有机物分子中的原子或原子团被其他原子或原子团替代的反应称为取代反应。甲烷中氢原子被氯原子取代的反应也被称为氯代反应。



在氯代反应中，当氯原子取代一氯甲烷中的氢原子后，生成的二氯甲烷具有怎样的空间结构？

甲烷是一种基础有机化工原料。甲烷被隔绝空气加热到1000℃以上，可以分解成炭黑和氢气。炭黑可用于制造活性炭，也可用于制造石墨、石墨烯等材料；氢气则是重要的化工基本原料。

## 烷烃 同分异构现象

烃分子中的碳原子之间以碳碳单键结合成链状，其余价键均与氢原子相结合的烃称为烷烃。烷烃是一种饱和烃，甲烷是最简单的烷烃。

烷烃的名称可用“碳原子数+烷”来命名，当碳原子数为1~10时，依次用天干——甲、乙、丙、丁、戊、己、庚、辛、壬、癸表示；当碳原子数超过10时，可用中文数字表示。例如，C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>叫己烷，C<sub>16</sub>H<sub>34</sub>叫十六烷。

可进一步从化学键变化的角度引导学生理解二氯甲烷、三氯甲烷等多氯代甲烷的生成反应，同时给出取代反应的定义。

“想一想”：通过二氯甲烷空间结构的讨论，进一步加强学生对甲烷是正四面体的空间结构的认识。

回归甲烷的用途，教师可以适当拓展甲烷在多个领域中的应用。

以甲烷为基础，给出烷烃的定义，同时简单介绍烷烃的命名方法。



1. 可通过球棍模型动画视频，引导学生得出氯代甲烷的形成，实质是用氯原子取代氢原子的初步认识。
2. 取代反应的定义和形式可与无机反应中的复分解反应进行对比，引导学生发现、总结两者的相似之处与不同点，加深学生的印象。
3. 建议通过分子模型实物或计算机3D建模软件对二氯甲烷的分子模型进行旋转、变换等操作，使学生对二氯甲烷的空间结构有直观的了解。

“书写表达”：根据甲烷中饱和碳原子的成键特点，推演出含更多碳原子的烷烃的可能结构，强化对烷烃结构特点的认识，为后续同系物概念做好铺垫。

介绍烃基、烷基的概念，为后续同分异构体的书写做好铺垫。

引导学生通过烷烃结构和分子式的观察与讨论，归纳总结同系物的相关知识点。

通过数据的分析和讨论，引导学生找到并发现烷烃的同系物中，随着碳原子数的增大，其物理性质的递变规律，体会“结构决定性质”的观念。

## 书写表达

请在甲烷分子球棍模型的基础上，搭建乙烷和丙烷分子的球棍模型，并写出它们的结构式。

烃分子失去1个氢原子后所剩余的部分叫做烃基。烃基一般用“—R”表示。如果这种烃是烷烃，那么烷烃失去1个氢原子后所剩余的原子团就叫做烷基。例如， $-\text{CH}_3$ 叫甲基， $-\text{CH}_2\text{CH}_3$ （或 $-\text{C}_2\text{H}_5$ ）叫乙基。

具有共同的化学通式，在组成上相差一个或几个碳原子基团，化学性质相似，物理性质随碳原子数的增加而规律性变化的化合物系列中的各化合物互为同系物。例如，甲烷、乙烷、丙烷……为烷烃系列的同系物，它们具有共同的化学通式  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ ，式中碳原子数为  $n$ ，氢原子数为  $2n+2$ ，相邻两个烷烃在组成上相差1个“ $\text{CH}_2$ ”原子团。

## 想一想

?

- 观察乙烷、丙烷、丁烷等烷烃分子的球棍模型，总结碳原子的成键特点；体会相邻的烷烃在分子组成上的差异。
- 阅读表7.1，讨论“烷烃随着碳原子数的增加，其物理性质呈现哪些变化趋势”，试阐述缘由。

表7.1 一些烷烃的分子式和物理常数

名称	分子式	常温时的状态	熔点/℃	沸点/℃
甲烷	$\text{CH}_4$	气	-182.5	-161.5
乙烷	$\text{C}_2\text{H}_6$	气	-182.8	-88
丙烷	$\text{C}_3\text{H}_8$	气	-188	-42.1
丁烷	$\text{C}_4\text{H}_{10}$	气	-138.3	-0.50
戊烷	$\text{C}_5\text{H}_{12}$	液	-129.7	36.0
己烷	$\text{C}_6\text{H}_{14}$	液	-95.4	68.7
十六烷	$\text{C}_{16}\text{H}_{34}$	液	18.2	286.8
十七烷	$\text{C}_{17}\text{H}_{36}$	固	22.0	302.2
二十四烷	$\text{C}_{24}\text{H}_{50}$	固	51	391

75



提醒学生在制作一些简单烷烃的分子空间结构模型的过程中，注意饱和碳原子所形成的共价键之间的键角，为后文“想一想”做好铺垫；另外，烷烃的通式可通过在分子空间结构模型的搭建过程中，引导学生通过归纳法总结得出。

烷烃的化学性质和甲烷类似，通常情况下都很稳定，但在空气中点燃后可以燃烧，在光照条件下能和氯气发生取代反应。



尝试搭建丁烷的球棍模型，你能得到几种不同的结构？丁烷分子中的碳链都是直线形的吗？

当我们用结构式表示丁烷( $C_4H_{10}$ )时，会发现有两种不同的结构，一种是所有的碳原子呈直链[图7.8(a)]，另一种带支链[图7.8(b)]。为了区别，前者被称为正丁烷，后者被称为异丁烷。除了用结构式表示，我们还可分别用结构简式来表示。正丁烷和异丁烷的球棍模型如图7.9所示。

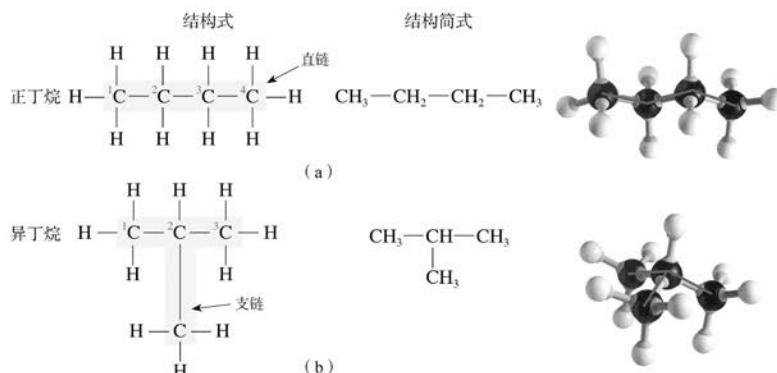


图7.8 正丁烷和异丁烷的结构式和结构简式

图7.9 正丁烷和异丁烷的球棍模型

通过同系物的概念和烷烃在化学性质上与甲烷相似的事实，深化“结构决定性质”的观念，体会同系物性质的学习方法。

利用分子空间结构的模型探究 $C_4H_{10}$ 的结构，一方面掌握球棍模型与结构简式相互转化的技巧；另一方面引出正丁烷和异丁烷的结构差异，引发学生思考，由此引出同分异构体的概念。



1. 在 $C_4H_{10}$ 分子模型搭建过程中，教师还可引导学生思考、讨论是否可能出现环状结构；另外可以讨论甲烷、乙烷是否存在同分异构体，加强对同分异构现象的理解。
2. 在学习过程中，教师可以指出，无论是烷烃化学性质的相似性，还是烷烃同分异构体物理性质上的差异，都可以运用“结构决定性质”的观念去解释。

表 7.2 正丁烷和异丁烷的物理常数

名称	熔点/℃	沸点/℃
正丁烷	-138.3	-0.50
异丁烷	-159.6	-11.7

## 书写表达

戊烷 ( $C_5H_{12}$ ) 在工业上用途广泛，结合同分异构现象，请写出戊烷同分异构体的结构式和结构简式。

随着烷烃中碳原子数的增加，烷烃的同分异构体数目急剧增加。同分异构现象是有机化合物数量庞大的重要原因之一。

## 链接学科

## 有机化学

19世纪初，许多化学家相信，在生物体内存在的所谓“生命力”，才能产生有机物，有机物不能由无机物在实验室里合成。1824年，德国化学家维勒 (Friedrich Wöhler, 1800—1882) 从无机物制得草酸，此后尿素、乙酸等有机物也相继由无机物合成，“生命力”学说才慢慢被打破。之后，有机化学逐渐兴起并蓬勃发展。

有机化学是研究有机物的来源、制备、结构、性质、应用以及有关理论的化学分支学科。有机化学之所以成为化学中的一门独立学科，是因为有机物有其内在的联系和特性。随着近代物理、数学的渗透，电子计算机、激光等技术的应用，以及维生素B<sub>12</sub>、牛胰岛素等重要生物活性物质的成功合成，又陆续形成了高分子化学、有机合成化学、金属有机化学、生物有机化学、理论有机化学等分支学科。



1. 可以充分利用分子结构模型或电脑、平板上的3D软件，完成戊烷同分异构体的结构制作和结构简式的书写，通过自由和开放性的模型构建与讨论，增强学生的空间想象能力和逻辑推理能力。
2. 建议通过网络查阅相关信息和数据，使学生直观地感受到同分异构体现象是导致有机化合物种类繁多的重要原因之一。
3. 教师可充分利用多媒体技术展现有机化学对人类发展和社会进步所起到的重要作用，激发学生的学习兴趣。

## 7.2 不饱和烃

### 教学目标

1. 了解石油、煤的组成及其用途。了解石油化工、煤化工中依据物质性质及其变化综合利用资源和能源的方法。认识化学工业在国民经济发展中的重要地位，认识化学对于构建清洁低碳、安全高效的能源体系所能发挥的作用。
2. 通过认识碳碳双键、碳碳三键和苯环的结构，了解有机化合物中不饱和碳原子的成键方式与不饱和烃的结构特点。
3. 能描述乙烯与高锰酸钾的酸性溶液、溴的四氯化碳溶液的反应现象，知道不饱和烃与饱和烃性质上的差异，并能利用这些性质进行鉴别，形成官能团决定有机化合物化学性质的观念。
4. 通过认识乙烯的加成反应和加聚反应，知道合成新物质是有机化学研究价值的重要体现，列举合成高分子材料在生产、生活中的重要应用。

### 教材解析

#### 一、教材设计思路

乙烯是石油化工重要的基本原料，通过多种有机反应由乙烯制备烃的衍生物及合成高分子材料。同时，乙烯也是一种较简单的不饱和烃，通过对乙烯的学习，学生可以更深入的了解有机化合物的结构、性质、用途及相互转化规律，并形成对官能团与有机化合物分类的关系的初步认识。

本节教材首先介绍了石油化工与煤化工的相关内容。在工业生产中，煤和石油是烃类化合物的主要来源。学生通过了解石油化工和煤化工的原理及主要产品及应用，能够从化学角度分析从资源到产品的转化途径，对资源的开发以及利用和能源的使用方案进行一定的了解。石油裂解的主要产品乙烯、煤干馏的主要产物苯以及利用焦炭生产电石制造的乙炔，综合利用价值都很大。《课程标准》对此部分内容的教学要求不高，对于石油化工的教学重点是介绍石油的分馏、裂化、裂解的基本原理，对煤化工的教学内容重点关注煤的干馏原理、主要产物及其用途等。

本节教材的另一重点内容是不饱和烃，其中以乙烯为典型代表物。教材首先通过搭建分子结构模型，让学生直观对比乙烯、乙炔分子中碳原子成键方式与乙烷的差异，体会有机化合物中碳原子成键情况的丰富性。《课程标准》对乙炔和苯的要求较低，只要求学生知道其基本结构特征，不涉及性质。因此教材只是简单描述两者分子中碳原子的成键特点，并通过“书写表达”让学生用模型探究乙炔的分子结构。“化学史话”中介绍了苯环结构的发现史，供学有余力的学生阅读学习，不做进一步学习要求。

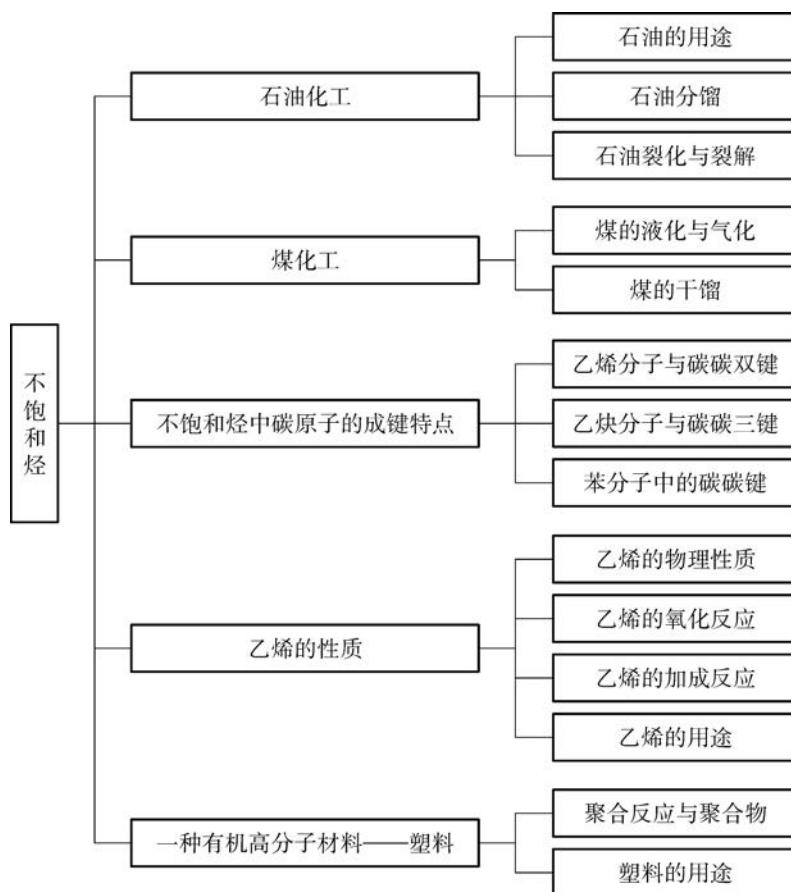
随后，教材介绍了乙烯的物理性质，并引出下文乙烯的化学性质。乙烯的化学性质围绕碳碳双键展开，氧化反应包括学生熟悉的燃烧氧化和被高锰酸钾的酸性溶液等氧化剂氧化，由于后者产物较为复

杂，教材只介绍了反应现象，不涉及反应的化学方程式。

介绍加成反应时，教材选择乙烯与溴的四氯化碳溶液反应，通过用硝酸银溶液验证反应后不存在 $\text{Br}^-$ ，确定该反应不是取代反应，通过结构式的变化引入加成反应概念。同时在书写表达中指出乙烯还可与其他试剂发生加成反应，生成一系列产物，体现基于官能团学习有机化合物转化的思想。

随后教材通过化学方程式、结构式和模型具体展示了化学键与有机化合物的分子结构在聚合反应前后的变化，帮助学生认识聚合反应，了解聚合物的分子结构。同时，教材还以聚乙烯为例介绍了链节、单体、聚合度等高分子基本概念，以利于后续学习合成高分子与生物大分子。通过“书写表达”，帮助学生正确理解加聚反应中不饱和键的变化情况。作为合成高分子材料的代表，教材随后介绍了塑料的相关知识，虽然整体要求较低，但为后续选择性必修“有机化学基础”模块打下了基础。

## 二、本节内容结构



### 三、教材分析

## 7.2 不饱和烃

#### 学习聚焦

- ✓ 知道石油的分馏、裂化和裂解
- ✓ 知道煤化工的主要方法
- ✓ 理解乙烯的分子结构及化学性质
- ✓ 认识乙炔、苯的结构特点
- ✓ 知道聚合反应和塑料的主要组分

#### 知识回放

- 蒸馏
- 甲烷的电子式和结构式
- 烷烃的分子结构
- 取代反应



图 7.10 采油



图 7.11 液体石油

石油和煤不仅是人类使用的主要能源，也是重要的化工原料和宝贵的资源，其中石油被称为“工业的血液”。通过石油化工不仅能够获得各种烷烃，还会产生乙烯、丙烯等物质。经过煤化工可以得到乙炔、苯等重要的化工产品。我们将了解乙烯、乙炔及苯等物质，进一步丰富对烃类物质的认识。

### 石油化工

石油是含有杂质的各种烃的混合物，燃烧的热值高，运输和储存方便。自 20 世纪 50 年代以来，在世界能源消费结构中，石油位居首位。

以石油或天然气为原料生产化工产品的工业，称为石油化学工业（简称石油化工）。其产品多达数千种，既包括医药、农药、炸药、染料等，也包括塑料、合成纤维、合成橡胶等。所以，石油化工在工业、农业、国防和人民生活等方面用途极广。

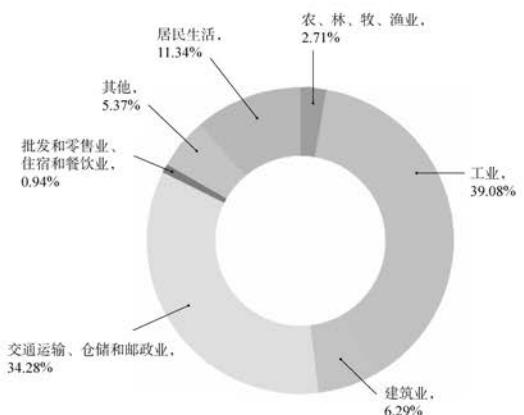


图 7.12 2019 年我国石油消费量中各领域所占比例<sup>①</sup>

<sup>①</sup> 资料来源：《2021 中国统计年鉴》（中华人民共和国国家统计局编）。

石油的元素组成基本上是碳和氢，其余为硫、氮、氧及微量金属元素（镍、钒、铁等），含硫、氧、氮的化合物对石油产品有害，在石油加工中应尽量除去。

热值是指单位质量（或单位体积）某种燃料完全燃烧放出的热量，是评价燃料质量的重要指标。石油的热值为  $41.87 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，天然气为  $38.97 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，原煤为  $20.93 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。虽然化石燃料热值都很高，但是直接燃烧不仅浪费资源，还会污染环境。



1. 本节教学从石油和煤导入是基于石油、煤是重要的能源，在国民经济建设中有重要的地位；同时石油、煤也是宝贵的资源，石油化工、煤化工的产品与工农业及日常生活密切相关。
2. 在教学中教师可以补充我国石油与煤炭资源分布状况、石油化工与煤化工发展状况等，联系我国化石燃料储量、加工能力、使用情况等进行国情教育。可以介绍当地石化原油加工能力，引导学生关心当地经济的发展动态。

“化学史话”：沈括在《梦溪笔谈》中提到以石油燃烧所得黑烟制作出高品质的墨，称为“延川石液”，并预言“此物必大行于世”。

不同产地石油的化学成分不同，主要是各种烷烃、环烷烃和芳香烃组成的混合物。组成不同类的石油，加工方法有差别，产品的性能也不同，应当物尽其用。

一般国内原油分馏汽油收率为5%~20%，柴油收率为25%~44%。

### 化学史话

#### 石油的早期利用

在伊拉克幼发拉底河两岸具有六千多年的古建筑中，存有使用沥青砂浆的迹象，这是人类最早利用石油的佐证。我国东汉史学家班固（32—92）在《汉书·地理志》中记载“高奴，有洧水，可燃”。石油一词始见于北宋科学家沈括（1031—1095）所著《梦溪笔谈》卷二十四“鄜县境内有石油”。

[注释]

高奴：今陕西省延安市延长县；洧水：今延河支流；可燃：可以燃烧的石油。



图 7.13 《梦溪笔谈》<sup>①</sup>

开采出来未经处理的石油称为原油。经过脱水、脱盐等处理后的石油仍是由各种烃组成的混合物。其中含碳原子数少的烃沸点低，含碳原子数多的烃沸点高。因此将石油加热至沸腾，通过分馏塔，可以把石油分成不同沸点范围的蒸馏产物，这个过程称为石油的分馏。分馏出来的各种成分叫做馏分，每一种馏分仍然是多种烃的混合物。

石油经过分馏以后得到的主要产物有石油气、汽油、煤油、柴油、润滑油、石蜡及沥青等，它们被广泛应用于人类生产和衣食住行等生活的各个领域。



图 7.14 工业石油分馏



图 7.15 石油分馏产品及其用途

<sup>①</sup> 上海图书馆藏古书流通处印民国影宋刻本。



1. 介绍石油分馏时，先说明烃分子碳原子数增加，烃的沸点相应升高；然后再提出怎样把石油组成里的低沸点烃与高沸点烃分离的问题，结合必修第一章所学蒸馏操作，启发学生思考、讨论，引导他们明确石油分馏原理。
2. 配合图 7.15 介绍石油分馏，引导学生认识：石油分馏是一种物理加工方法，利用各馏分沸点不同进行混合物的初步分离；分馏塔中随着高度升高，温度逐渐降低，不同沸点范围的馏分在不同高度发生液化后分离引出。分馏产物仍是碳原子在一定范围内的烃的混合物。
3. 有条件的学校可以补充演示石油分馏的模拟实验，感受在分馏柱自下而上不同位置得到馏分的温度范围的变化。同时从实验室过渡到工业生产，帮助学生理解化学原理应用于工业生产的过程都是从小样试验开始，然后放大试验，成功以后再应用于生产。

石油分馏获得汽油、煤油和柴油等轻质液体燃料的产量不够高。为了提高轻质液体燃料的产量，特别是提高汽油的产量和质量，工业上在一定条件下（加热或使用催化剂并加热），把相对分子质量大、沸点较高的烃断裂为相对分子质量较小、沸点较低的烃，这种方法称为裂化。例如：



石油化工生产中，常把石油分馏产品（包括石油气）作原料，采用比裂化更高的温度，使具有长链分子的烃断裂成乙烯、丙烯等短链的小分子烃，作为有机化工原料。工业上将这种方法称为石油的裂解。

## 煤化工

煤是由有机物和无机物组成的复杂的混合物。煤化工是指经化学方法将煤炭转换为气体、液体和固体产品，而后进一步加工成一系列化工产品的工业。煤的液化、气化、干馏等是煤化工及其综合利用的重要方法。



图 7.16 煤化工生产装置

煤的液化一般是将煤磨成粉后和一些燃料油混合，在催化剂作用下加氢的加工方法，得到的液体称为人造石油，可以代替石油使用。

煤的气化是煤在氧气不足的情况下部分氧化，产生一氧化碳、氢气、甲烷等可燃性混合气体的加工方法，所得

强调裂化的目的，并以十六烷的裂化反应为例介绍裂化的原理，说明石油的裂化是化学变化。不要求进一步区分热裂化和催化裂化。

裂解就是深度裂化。裂解气主要是甲烷及含有两个至五个碳原子的烯烃和烷烃等，还有氢气。

煤的综合利用不仅具有重要的生产价值，而且还能解决环境问题。

煤的液化与气化均属于化学变化，注意与物质三态变化进行区分。



1. 教师可以引导学生从目的、原理、产品等角度比较石油的裂解与裂化，并通过表格的方式体现两者的异同。
2. 有条件的学校可以补充演示石蜡的催化裂化模拟实验，收集液态产物，嗅闻到它具有汽油的气味，气态产物可以点燃，或者通入高锰酸钾的酸性溶液，溶液褪色，从而证明生成物与烷烃具有不同的性质。

干馏是固体或有机化合物在隔绝空气条件下加热分解生成各种气体、蒸气以及固体残渣的过程。煤的干馏又称煤的焦化。

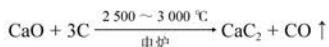
制造电石的反应是一个强吸热反应，需在电炉中进行，利用电极电弧产生的高温进行熔炼。通过两步反应仅以无机化合物（生石灰、焦炭、水）为原料制备出了有机化合物乙炔，同样也能说明有机化合物与无机化合物间没有明显界限。此处不建议拓展乙炔的实验室制法。

“书写表达”：提醒学生关注乙烯分子中的碳碳双键与球棍模型中棍的分布的对应关系，观察乙烯分子中各原子的空间位置关系。

气体可作为城市管道煤气，提纯后亦可作为工业原料。

煤的干馏是把煤隔绝空气加强热使它分解，生成焦炭、煤焦油、粗氨水、焦炉气等的过程，其中焦炭主要用于冶金工业和生产电石；煤焦油通过分馏可以得到如苯、苯酚、沥青等化工原料；焦炉气的主要成分是氢气、甲烷等，可作为燃料和化工原料；得到的粗氨水可用来制造氮肥。

煤化工的一个重要产物是碳化钙（俗称电石），它是把焦炭和生石灰置于高温电炉内加热得到的。



将碳化钙与水反应即得到乙炔。

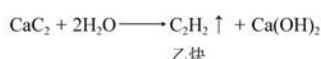


图 7.17 电石

### 不饱和烃中碳原子的成键特点

石油裂解气里含量较高的就有乙烯。乙烯的分子式为  $\text{C}_2\text{H}_4$ ，和乙烷比较，乙烯分子中少了两个氢原子，乙烯分子里的碳原子所结合的氢原子数少于饱和烃里的氢原子数。像乙烯这类化合物跟某些物质发生反应，它们分子里的这种碳原子还可以结合其他的原子或原子团。通常把这些烃称为不饱和烃，乙烯就是一种不饱和烃。

#### 书写表达



图 7.18 乙烯分子的球棍模型和空间填充模型

若乙烯分子中碳、氢原子成键时都要达到稳定，那么它们之间应当如何连接呢？尝试写出乙烯分子的电子式和结构式，并动手搭建乙烯分子的球棍模型，观察碳、氢原子的成键情况。

乙烯分子中两个碳原子之间共用两对电子而形成的共价键习惯上称为碳碳双键（ $\text{C}=\text{C}$ ）。碳碳双键是一种不饱和键，形成不饱和键的碳原子称为不饱和碳原子。



- 教师可将煤的干馏与石油分馏进行对比教学，引导学生分析两者本质差别。有条件的学校可以补充演示煤的干馏模拟实验，收集液态产物，观察煤焦油与粗氨水间的分层现象。
- 在探究不饱和烃中碳原子的成键特点时，建议采用标准球棍模型。活动时学生先搭建乙烷的分子结构模型，然后根据乙烯的分子式，取下两个氢原子后，教师引导学生思考如何用短棍进行搭建使得碳原子满足碳四价原则。学生完成乙烯分子搭建后指导学生观察、分析并与乙烷进行比较，帮助学生进一步提高对有机化合物分子结构的微观探析能力。若采用橡皮泥、牙签等代用品进行模型搭建，教师要适时指明有机化合物分子有一定的空间结构，在搭建模型时需要考虑键的长度和化学键间的夹角。

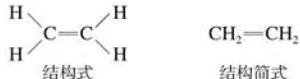


图 7.19 乙烯分子的结构式和结构简式



图 7.20 乙炔分子的球棍模型和空间填充模型

乙炔俗称电石气，分子式为  $\text{C}_2\text{H}_2$ ，与乙烯相比，乙炔分子中少了 2 个氢原子。你认为乙炔分子中两个碳原子之间的共价键会有怎样的特点？

### 书写表达

尝试写出乙炔分子的电子式和结构式。观察乙炔分子的球棍模型，说出其分子的空间结构。

乙炔分子中两个碳原子之间共用三对电子而形成的共价键称为碳碳三键 ( $-\text{C}\equiv\text{C}-$ )，碳碳三键也是一种不饱和键。

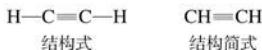


图 7.21 乙炔分子的结构式和结构简式

苯是从煤焦油分馏中得到的一种重要化工原料，由英国物理学家和化学家法拉第 (Michael Faraday, 1791—1867) 在 1825 年首次发现并确定其分子式为  $\text{C}_6\text{H}_6$ 。现代研究表明，苯分子具有平面正六边形结构，其中六个碳原子相互之间的键完全相同，既不同于典型的碳碳单键，也不同于典型的碳碳双键。现在，我们一般把苯的结构简式表示为 或 。苯也是一种不饱和烃。

### 化学史话

#### 苯的结构之谜

苯的结构之谜曾长期困扰着化学家。1861 年捷克的中学教师洛希米德 (Joseph Lochmidt, 1821—1895) 提出了苯具有环状结构。1865 年德国化学家凯库勒 (Friedrich August Kekulé, 1829—1896) 提出了以短线价键方式画出的苯的单双键交替的平面环状结构，即苯的凯库勒式 (图 7.22)。

“书写表达”：提醒学生关注乙炔分子中的碳碳三键与球棍模型中棍的分布的对应关系。观察乙炔分子中各原子的空间位置关系。

引导学生认识碳原子不仅可以形成链状结构，还可以形成环状结构。

学生仅需了解苯分子中碳原子成键的不饱和性，知道苯分子中碳碳键的特殊性，强调不存在碳碳双键与碳碳单键。苯的性质将在选择性必修课程中继续学习，此处不宜展开。



- 在完成乙烯分子结构模型基础上，学生取下两个氢原子，继续通过增加碳碳键的方式满足碳四价原则，搭建乙炔的球棍模型，观察乙炔分子的空间结构，并与乙烯、乙烷进行比较。
- 在进行苯结构教学时，可以介绍科学家是如何描述苯分子的结构，理解凯库勒用单键、双键交替的平面环状结构来描述苯分子的意义。再结合现代化学测定苯中碳原子之间的键完全相同这一事实证据，提出苯中不存在典型的碳碳单键与碳碳双键的结论。对苯分子中存在的离域  $\pi$  键、苯难以加成等性质，不做学习要求。

“化学史话”：强调凯库勒式的局限性。

由于苯的凯库勒式无法解释苯的有些化学性质，所以它并不能完全反映苯真正的结构。但是，苯的凯库勒式至今仍常被人们使用。

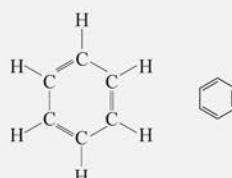


图 7.22 苯的结构式和凯库勒式



图 7.23 苯分子的空间填充模型

“实验探究”：

1. 实验中由于高锰酸钾的酸性溶液氧化性较强，乙烯在此过程中双键断裂，被氧化为二氧化碳。

2. 实验中乙烯要通入足量，待溴的颜色完全褪去后再滴加硝酸银溶液。此实验若用溴水，也能看到褪色现象，但滴加硝酸银溶液会有淡黄色沉淀生成，因为溴水成分复杂，乙烯还会与次溴酸等发生加成，导致反应后仍有Br<sup>-</sup>存在。

乙烯燃烧时伴有黑烟，这是乙烯含碳量高、燃烧不充分所致。碳粒在高温下发光，导致火焰明亮。

## 乙烯的性质

乙烯为无色，稍有气味的易燃气体，几乎不溶于水。乙烯分子的结构特点决定了乙烯具有跟乙烷不同的性质。

### 资料库

#### 乙烯

密度： $1.147 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  (25 °C)

熔点：−169.4 °C

沸点：−104 °C

### 实验探究



### 乙烯的性质

- 将乙烯通入盛有高锰酸钾的酸性溶液的试管里，观察试管内溶液颜色的变化。
- 将乙烯通入盛有溴的四氯化碳溶液的试管里，观察试管内溶液颜色的变化。在反应后的溶液中滴加2~3滴酸化的硝酸银溶液，并观察现象。

编号	现象记录	实验结论
1		
2		

由于分子中存在碳碳双键，乙烯能被高锰酸钾氧化，使紫色高锰酸钾的酸性溶液褪色，利用该反应可以鉴别乙烷和乙烯。除了与高锰酸钾发生氧化反应外，乙烯在氧气中的燃烧，也是一种氧化反应，燃烧时放出大量的热，火焰比乙烷燃烧更加明亮。

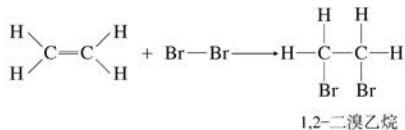
85



- 教师可以通过让学生观察乙烯相关实验现象并对比甲烷的相关反应，帮助学生认识不饱和烃的性质和特点。
- 教师可以补充乙烯燃烧实验，引导学生观察火焰的明亮程度和少量黑烟，并与甲烷燃烧时产生的淡蓝色火焰对比，分析燃烧现象的差异。



乙烯能与溴单质反应使溴的四氯化碳溶液褪色，但该反应中并未生成 HBr，说明乙烯和溴单质的反应不是取代反应。研究表明，该反应中乙烯分子的碳碳双键中有一个键断裂，两个溴原子分别加在断键的两个碳原子上，生成无色的 1,2-二溴乙烷液体。



有机物分子中双键两端的碳原子跟其他原子或原子团直接结合生成新的化合物的反应属于加成反应。上述乙烯和溴的反应就是加成反应。

### 书写表达

一定条件下，乙烯能和 H<sub>2</sub>、HCl、H<sub>2</sub>O 等物质发生加成反应，请写出这些加成产物的结构简式。

乙烯是一种植物生长调节剂，可用作水果的催熟剂。乙烯还是用来制造塑料、合成纤维、有机溶剂等的重要基础原料。

### 一种有机高分子材料——塑料

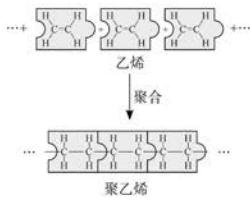


图 7.24 乙烯聚合反应的示意图

在适当温度、压强和催化剂存在的条件下，许多乙烯分子之间还可以通过断裂碳碳双键然后连接起来生成聚乙烯。



采用结构式来表示乙烯与溴加成反应，目的是帮助学生认识加成反应与分子结构中碳碳双键的关系，并基于此反应认识碳原子与卤素原子、氧原子等其他原子之间的成键。

“书写表达”：乙烯与 H<sub>2</sub>、HCl、H<sub>2</sub>O 加成分别生成 CH<sub>3</sub>CH<sub>3</sub>、CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>Cl 和 CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH。在书写这些产物时一定要强调书写的规范性、原子或原子团之间的连接顺序，如 C—Cl、C—OH 等。

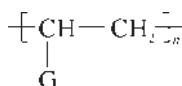
强调聚合物书写规范性，解释两端的化学键为何要穿过中括号，为何不能遗漏聚合度 n 等。



1. 学生可以利用球棍模型来模拟乙烯与溴的加成，关注其中化学键的变化。教师及时组织学生用结构简式对该反应进行表示： $\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{Br}_2 \longrightarrow \text{CH}_2-\text{CH}_2$ ，注意产物中 C 与 Br 应相连。
2. 乙烯的聚合以及聚乙烯的结构也可以借助模型拼插活动展开。学生利用球棍模型形象感知多个乙烯分子打开碳碳双键中的一个键，然后相互链接形成长链。该反应可用结构简式进行表示： $n \text{CH}_2=\text{CH}_2 \xrightarrow{\text{一定条件}} [\text{CH}_2-\text{CH}_2]_n$ 。
3. 教师可以利用生活中的实例帮助学生形象化地理解加成反应和加聚反应的基本原理。例如：加成反应可以通过一个人开始将双手笼在袖子中，然后再把手拿出来各持其他物品的形象化实例来类比；加聚反应可以通过许多人手拉手连成长队的形象化实例来类比。

高分子化合物的相对分子质量从几万到几百万甚至上千万。同一种高分子化合物的分子链所含的链节数并不相同，所以高分子化合物实质上是由许多链节结构相同而聚合度不同的化合物所形成的混合物。

“书写表达”：碳碳双键在发生加聚反应时，双键打开彼此连接形成长链，原来连接在碳原子上的原子或原子团并未参与长链的形成，在书写时应注意不得将其写入主链结构，该单体聚合产物的结构为：



聚乙烯（PE）、聚丙烯（PP）、聚苯乙烯（PS）均无毒，可以用于制作食品包装材料。聚氯乙烯（PVC）本身虽然无毒，但成型过程中添加的增塑剂有毒，所以不可以用于食品包装。

由相对分子质量小的化合物相互结合成相对分子质量很大的聚合物的反应，称为聚合反应。上述化学方程式中， $\text{CH}_2=\text{CH}_2$  为单体， $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$  为链节，下标  $n$  为聚合度， $[\text{CH}_2-\text{CH}_2]_n$  为聚合物，也称高分子化合物。由于乙烯聚合成聚乙烯的反应也可看作加成反应，因此这种小分子通过加成聚合生成聚合物的反应也称为加聚反应。

### 书写表达

如果把乙烯中的一个氢原子换成其他原子或原子团 G，

G

你能写出这种单体  $\text{HC}=\text{CH}_2$  发生聚合反应后的产物吗？（假设反应过程中 G 不发生变化）

### 链接学科

#### 高分子化学

高分子化学学科的开拓者施陶丁格（Hermann Staudinger, 1881—1965）是德国有机化学家、高分子化学家。20世纪20年代，他将天然橡胶氯化，得到了氯化天然橡胶，证明了天然橡胶不是小分子缔合的结果，而是相对分子质量较大的化合物，正式提出了“高分子化合物”的概念，并提出了高分子化合物的黏度性质与相对分子质量的关系，从而建立了高分子化学这一分支学科，施陶丁格因此获得了1953年诺贝尔化学奖。

有机高分子材料在生活和生产的各领域中都有广泛的应用，塑料就是一种有机高分子材料，它们都是以聚合物为主要组分，加入适当添加剂（如增塑剂、填料、稳定剂、阻燃剂、着色剂等），经加工成型的塑性材料或固化交联形成的刚性材料。塑料的分类如图7.25所示。

聚乙烯广泛地用于制作农用薄膜和与食品有关的各种塑料制品，如食品袋、水杯等。用丙烯、氯乙烯、苯乙烯作为原料，通过聚合反应分别得到聚丙烯、聚氯乙烯和聚苯乙烯，可用于制作多种结构与性能不同的塑料。

87



- 教师可以补充以乙烯为原料合成聚乙烯的化学史，引导学生了解化学理论在指导实验研究方面的重要作用，认识理论与实践的辩证关系。
- 通过乙烯与聚乙烯结构的对比，学生自主归纳总结加聚过程中单烯单体与高聚物结构间的关系，教师可以展示聚丙烯 ( $[\text{CH}_2-\text{CH}_2]_n$ )、聚苯乙烯 ( $[\text{CH}_2-\text{CH}_2]_n$ ) 和聚氯乙烯 ( $[\text{CH}_2-\text{CH}_2]_n$ ) 的结构，让学生



思考单体的结构各是什么，作为对乙烯加聚反应知识的应用。此处不宜拓展两种或多种单烯单体共聚、共轭双烯单体加聚等内容。

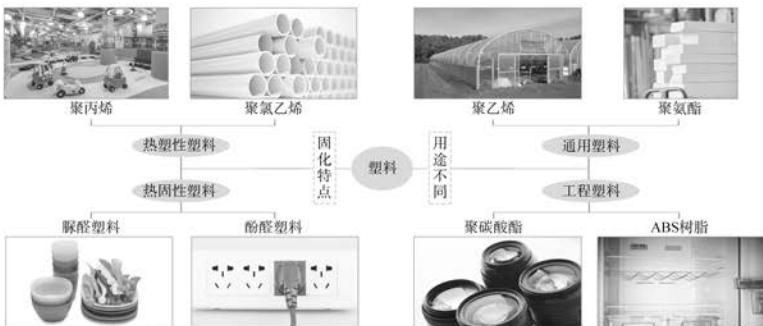


图 7.25 塑料的分类

### 学习指南

**例题导引**

**问题:** 若用下列两组方案来制取纯净的 1,2-二氯乙烷 ( $\text{H}-\text{C}(\text{Cl})-\text{C}(\text{Cl})-\text{H}$ )，采用哪组方案更为合理？  
 (甲) 使用乙烷和氯气为主要原料，在取代反应条件下进行  
 (乙) 使用乙烯和氯气为主要原料，在加成反应条件下进行

**分析:** 若采用甲组方案。乙烷和氯气发生取代反应，生成一氯乙烷 ( $\text{H}-\text{C}(\text{Cl})-\text{C}(\text{H})-\text{H}$ )，一氯乙烷再和氯气反应，可以生成目标分子 1,2-二氯乙烷 ( $\text{H}-\text{C}(\text{Cl})-\text{C}(\text{Cl})-\text{H}$ )，但此时还会生成另一种同分异构体 1,1-二氯乙烷 ( $\text{H}-\text{C}(\text{Cl})-\text{C}(\text{Cl})-\text{H}$ )。实际上还不止于此，生成的二氯代烷还有可能继续跟氯气发生取代反应，生成三氯代烷、四氯代烷……因此，用甲组方案，1,2-二氯乙烷的纯度会偏低。  
 若采用乙组方案，适量的氯气能够和乙烯分子中的碳碳双键发生加成反应，生成目标分子 1,2-二氯乙烷。因此，采用乙组方案，1,2-二氯乙烷的纯度会较高。

88

热塑性塑料在一定温度下具有可塑性，冷却后固化且能重复这种过程，其分子结构往往呈线性；热固性塑料第一次加热时可以软化流动，加热到一定温度会固化而变硬，这种变化是不可逆的，其分子结构往往呈体型；工程塑料是指可作工程材料和代替金属制造机器零部件等的塑料。



- 教师可引导学生寻找身边的各种塑料，了解它们结构与性能，并通过实验判断塑料样品是热塑性还是热固性的。
- 学生可以在教师的指导下了解塑料回收标志的含义，开展塑料及其回收利用研究性学习，树立保护环境的可持续发展意识。

## 7.3 乙醇和乙酸

### ▶ 教学目标

1. 通过乙醇、乙酸的结构及其主要性质与应用，认识有机化合物中羟基、羧基官能团与其性质的关系。
2. 能描述乙醇、乙酸的主要性质实验的现象，能书写相关的反应式，能利用这些主要性质进行鉴别。
3. 通过对乙醇分子结构、乙酸酸性的探究，体验科学探究的基本方法，感悟科学探究的魅力。
4. 能结合乙醇、乙酸的性质对有关能源、饮食、健康等实际问题进行分析、讨论和评价，认识化学与生活、生产的密切关系，发展科学素养。

### ▶ 教材解析

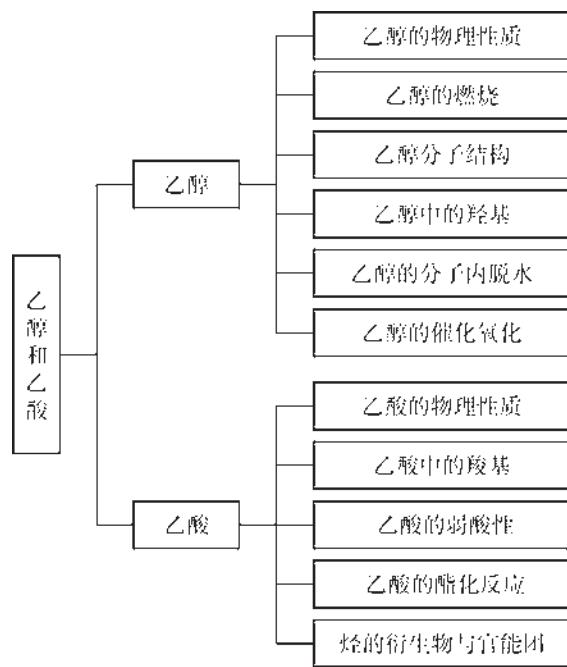
#### 一、教材设计思路

有机化合物种类繁多，很多有机化合物都是由烃衍生出来的，本节主要介绍由羟基和羧基等含氧原子团取代了烃中的氢原子形成的乙醇和乙酸的性质。乙醇和乙酸是与人类生活密切相关的有机化合物，在生活中学生已经对两者具有了一定的认识。本节在上一节初步了解的官能团的概念的基础上，以乙醇和乙酸为例，进一步让学生从结构的角度理解决定有机化合物分类与化学性质的特征基团，并从官能团转化角度认识有机化合物之间的转化，深化“结构决定性质”的观念。

本节教材从我国酿酒历史引入乙醇，介绍了乙醇的物理性质与可燃性。然后在“书写表达”环节中引导学生尝试通过分子式推测乙醇结构，再结合钠与乙醇反应的定性、定量实验研究，确认乙醇的分子结构。通过乙醇、水与钠反应的实验对比，加深理解乙醇的结构和性质，进一步理解结构和性质的关系。随后，教材简单介绍了乙醇的消去反应后，进入乙醇的催化氧化的学习，本实验也是《课程标准》规定的必做实验内容，通过实验过程中铜丝的变化，指导学生对催化剂参与反应的过程作出推理，发展“证据推理”能力。

在第二部分介绍乙酸时，教材通过学生熟悉的食醋引入乙酸的物理性质，再通过分子结构引入羧基。基于生活经验和已学过酸的通性等相关知识，学生容易理解乙酸的酸性，并能通过自行设计实验方案进行探究。酯化反应是重要的有机化学反应，由于在选择性必修模块会对实验室制备乙酸乙酯进行深入学习，此处仅要求知道反应中乙酸和乙醇的断键方式、产物结构与名称等，作为羧基官能团的一种特征反应进行学习。最后教材对烃的衍生物、官能团等概念进行了总结，并介绍了一些常见的官能团，再次强化基于官能团认识有机化合物的理念。

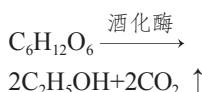
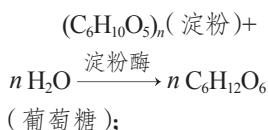
## 二、本节内容结构



### 三、教材分析

## 7.3 乙醇和乙酸

发酵法制备乙醇的原理为：



除去乙醇中少量的水可采用加入新制的生石灰蒸馏的方法。

酒精杀菌消毒的原理是使蛋白质变性。过高浓度的酒精会在细菌表面形成一层保护膜，阻止其进入细菌体内，难以将细菌彻底杀死。若酒精浓度过低，虽可进入细菌，但不能将其体内的蛋白质凝固，同样也不能将细菌彻底杀死。

在有机物中，除了我们已经学过的由碳、氢两种元素组成的烃类外，还包括由碳、氢及氧、氮、硫等其他元素所组成的有机物。乙醇、乙酸是我们身边最常见的含氧有机物，我们通过学习它们的结构、性质以及用途，进而认识有机反应的特点，为进一步深入学习有机化学打下基础。

### 乙醇

我国早在四千多年前就用粮食发酵酿酒，杜康酿酒的传说流传久远。粮食中的淀粉在酒曲作用和加热的条件下，水解成为葡萄糖，葡萄糖再进一步在酶的作用下生成乙醇。

乙醇（俗称酒精）是酒的有效成分。不同饮用酒中乙醇的含量各不相同。酿造酒的酒精含量较低，可用蒸馏法得到酒精含量较高的烈性酒。



图 7.26 工人在酿酒车间工作

乙醇是无色透明且具有特殊香味的液体，易挥发，能溶解多种无机物和有机物，能与水以任意比例互溶。医疗中常用体积分数为 70% ~ 75% 的乙醇溶液进行杀菌消毒。

乙醇易在空气中燃烧，产生淡蓝色的火焰（图 7.27），同时放出大量的热。



将玉米、木薯以及秸秆等原料进行发酵，可得到廉价的酒精，将其添加到汽油中可混合成乙醇汽油，乙醇汽油既能节省石油资源，又能减少汽车尾气中硫的氧化物、氮氧化物的污染，已被许多国家所采用。

#### 学习聚焦

了解乙醇的分子结构，理解其化学性质

了解乙酸的分子结构，理解其化学性质

知道官能团的概念，了解羟基、羧基等官能团与性质的关系

#### 知识回放

- 酒精燃烧
- 钠和水的反应
- 酸的通性
- 烃的性质

#### 资料库

##### 乙醇

密度：0.789 4 (20 °C 时  
相对于水在 4 °C  
下的密度)

熔点：-114 °C  
沸点：78.3 °C



图 7.27 乙醇燃烧

91



1. 乙醇的物理性质的教学可以引导学生通过观察、实验，自主归纳并与生活、生产中的应用进行关联。
2. 可以布置自制酒酿的研究性学习作业，加强课堂与真实世界之间的联系，激发学生的体验热情。
3. 教师可以从乙醇燃烧反应产物引导学生思考推广乙醇汽油的意义，通过对普通汽油与乙醇汽油，指导学生分析乙醇汽油相较于普通汽油的优点与不足，辩证地看待乙醇汽油的使用。

## 书写表达

推测乙醇的分子结构。

## (1) 猜测结构。

对比乙烷的分子式，乙醇的分子式为  $C_2H_6O$ 。通过球棍模型的搭建，推测乙醇分子可可能存在结构式：\_\_\_\_\_。

## (2) 分析数据。

实验表明，1.15 g 乙醇与足量金属钠反应，可产生标准状况下的氢气 0.28 L。

推知：

① 1 mol 乙醇与钠完全反应，生成 \_\_\_\_\_ mol 氢气，即相当于 \_\_\_\_\_ mol 氢原子。

② 1 mol 乙醇分子中存在不同于乙烷分子里的活泼氢原子为 \_\_\_\_\_ mol。

## (3) 推测结论。

乙醇分子的结构式为：\_\_\_\_\_。



图 7.28 乙醇的空间填充模型（图中红球代表氧原子）

乙醇分子中由氧原子和氢原子组成的原子团，被称为羟基 ( $-OH$ )，乙醇羟基上的氢原子相对比较活泼。因此乙醇和乙烷具有不同的化学性质，可以和金属钠发生反应，反应中钠原子置换了羟基中的氢原子，生成氢气和乙醇钠。



## 实验探究



## 乙醇、水与钠反应的实验对比

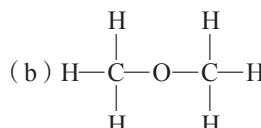
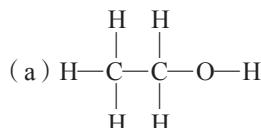


- 在大试管中加入 3 mL 无水乙醇，加入一块绿豆大小的金属钠，塞上导管并将导管的一端放入盛有少量水（滴加洗涤剂）的玻璃蒸发皿中（图 7.29）。待蒸发皿内出现大量气泡后，用点火枪点燃气泡。
- 取一培养皿注入约一半容积的水，投入一块绿豆粒大小的金属钠，观察现象。请比较乙醇与钠、水与钠反应现象的差异，分析原因。



图 7.29 乙醇与钠反应

“书写表达”：根据分子式  $C_2H_6O$  推测可能的结构有：



结构 (a) 中，羟基上的氢原子与其他 5 个氢原子不同；结构 (b) 中，6 个氢原子是相同的。再根据乙醇与足量金属钠反应生成的氢气的数据，推算乙醇分子中一个氢原子的活泼性与其他 5 个氢原子不同，由此确认乙醇分子的结构。

“实验探究”：乙醇、水与钠的反应均属于置换反应，但反应的剧烈程度不同。

乙醇钠属于离子化合物，能溶于乙醇，具有强碱性，在水中水解成氢氧化钠和乙醇。

## 贴士

- 在分析乙醇分子结构时可以让学生分组动手搭建球棍模型。在完成结构确认后，可再次引导学生观察乙醇分子结构模型，认识到乙醇分子既可以看成是乙烷分子中的氢原子被羟基取代，又可以看成水分子中的氢原子被乙基取代，加深乙醇分子结构的认识，以解释其物理性质。
- 教师也可以拓展利用核磁共振氢谱分析乙醇分子结构的方法，引导学生初步感受现代仪器分析技术在有机化合物结构测定中的重要作用。
- 乙醇、水与钠反应的实验对比可以设计为分组活动，引导学生比较两个反应的共同之处，让学生从水与钠的反应推理出乙醇与钠反应的化学方程式，分析反应中乙醇的官能团与化学键的变化；通过比较两个反应剧烈程度的差异，总结乙醇与水羟基上氢原子活泼性的差异，初步感受基团间相互作用对物质性质的影响。

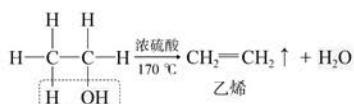
通过本反应，学生可以认识到有机化合物在化学变化中官能团不仅自身发生改变，而且也会影响附近的原子一同参与反应。此处不要求拓展乙烯的实验室制法，更不宜拓展醇发生消去反应的结构特征等内容。

“实验探究”：采用希夫试剂代替传统的闻气味或新制氢氧化铜氧化检验乙醛，更为灵敏、方便和安全。在必修课程中对醛的性质不做学习要求。

不宜拓展醇发生催化氧化的结构特征的内容。

编号	现象记录	实验结论
1		
2		

将无水乙醇和浓硫酸的混合物快速加热到170℃，乙醇分子脱去一个水分子生成乙烯。



### 实验探究



### 乙醇的催化氧化



如图7.30所示，在一大玻璃管内放入浸有酒精的棉球，在棉球旁放一浸有希夫试剂<sup>①</sup>的滤纸，玻璃管的一端塞入一根绕有粗铜丝的低压发热器，另一端用玻璃管接入双连球，并将尾气通入一盛水的烧杯。接通电源，待铜丝发热后，用双连球轻轻鼓气并切断电源。



现象记录：\_\_\_\_\_。

实验结论：\_\_\_\_\_。

图7.30 空气氧化乙醇的实验装置

乙醇在加热和催化剂(Cu或Ag)存在的情况下，能够被空气中的氧气氧化，生成乙醛。



① 希夫试剂可用来检验乙醛。若遇到乙醛，无色的希夫试剂会变成紫红色。



1. 在进行乙醇的催化氧化实验教学时，教师应引导学生观察鼓气过程中铜丝表面黑红颜色的交替变化，分析铜的催化原理。铜丝变黑是铜与氧气生成氧化铜，随后氧化铜被乙醇蒸气还原，又恢复至红色，如此反复，帮助学生认识乙醇的还原性，认识羟基发生氧化反应时的断键规律。
2. 通过总结乙醇发生置换、消去、催化氧化等反应，对比反应物和产物的结构，分析乙醇分子中的活性部分，进而体会官能团在有机分子结构中的重要地位。

## 拓展视野

## 乙醇对人体的作用和行为的影响

人饮酒以后，乙醇随血液进入肝脏，在乙醇脱氢酶的作用下，乙醇被转化成乙醛，乙醛再在乙醛脱氢酶的作用下成为乙酸。过量饮酒后，过多的乙醇及其转化产物，特别是乙醛会刺激脑细胞的类脂物质发生化学变化，导致脑细胞膜硬化，产生一系列的不良反应（表7.3）。尤其是驾驶员酒后由于反应明显迟缓，常会因此而造成危及人身和财产安全的严重交通事故，因此严禁酒后驾车。

表7.3 人体血液中乙醇含量对行为的影响

血液中乙醇的质量分数（%）	人的行为
0.05	清醒程度降低，协调性减弱，反应时间迟缓 15% ~ 25%
0.10	视觉敏感度降到 32%
0.25	协调性严重障碍，眩晕，摇晃，感觉损伤
0.35	外部感觉麻木，体温下降
0.40	半数的人死于酒精中毒

“拓展视野”：有些人体内乙醛脱氢酶含量不足，饮酒后易造成体内乙醛过多蓄积，引起毛细血管扩张，表现为面红耳赤、头晕目眩，称为“酒精性脸红反应”。

## 乙酸

## 资料库

## 乙酸

密度：1.049（20℃时相对于水在4℃下的密度）

熔点：16.7℃

沸点：118℃



图7.31 乙酸分子的球棍模型和空间填充模型

乙酸的分子结构如图7.31所示，分子中存在一种重要的基团—COOH（图7.32），称为羧基。在分子中烃基（或氢原子）跟羧基直接相连的有机物叫做羧酸。由于乙酸含有羧基，在水溶液里能部分电离出氢离子，因此乙酸具有弱酸性。

羧基可以看做羰基



与羟基结合而成的基团，因受到羰基的影响，羧基中氢氧键极性增强，比醇分子中的氢氧键更易断裂。

 贴士

- 可以结合酒驾、醉驾造成严重交通事故的案例，对学生进行法治教育，借助有关法律法规分析与化学有关的社会热点问题。
- 通过乙醇在人体内代谢转化的素材，引导学生比较乙醇不同条件下发生相同的催化氧化反应，进一步体会乙醇氧化的实质。
- 乙酸的教学可以从用途切入，引出性质与结构。对于结构的分析可以引导学生观察球棍模型，关注碳原子的成键方式和成键类型，并与乙烷分子对比找到乙酸的官能团羧基。

“实验探究”：酯化反应的简易实验可将乙醇、乙酸混合后加入少量浓硫酸，在回流条件下加热数分钟，再将混合物倒入水中，可以看到水层上方漂浮的有机层（乙酸乙酯），并闻到酯的香味。完整的乙酸乙酯的实验室制备装置以及运用速率理论与化学平衡原理对制备实验进行分析等内容将在选择性必修课程中进行介绍。

乙酸在有浓硫酸存在并加热的条件下，可以和乙醇反应生成乙酸乙酯和水。

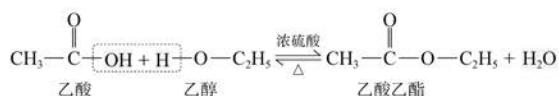
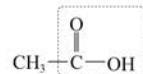


图 7.32 乙酸分子中的羧基

这种酸和醇作用生成酯<sup>①</sup>和水的反应，属于酯化反应。

### 实验探究



### 乙酸的化学性质



结合乙酸中羧基的结构特点，思考以下哪些物质能与乙酸发生反应。请根据思考结果，利用以下提供的药品和合理的仪器，设计出实验方案，探究乙酸的化学性质。

提供下列药品：石蕊试液、Mg、CaO、NaOH、NaHCO<sub>3</sub>、CaCO<sub>3</sub>、乙醇、浓硫酸等。



### 乙酸的化学性质

实验目的：

实验原理：

实验用品：

实验步骤：

数据处理与实验结果：

问题与讨论：

乙醇、乙酸、乙酸乙酯这些有机物，从结构上来说，都可以看作是由乙烷中的氢原子被其他基团取代后衍变而来的，所以也可叫做烃的衍生物。

烃的衍生物具有跟相应烃不同的化学特性，这是因为取代氢原子的其他原子或原子团对于这些烃的衍生物的性质起着重要作用。这种决定有机物化学特性的原子或原子团叫做官能团。羟基（—OH）、羧基（—COOH）、

酯基（—C=O—OR）等是官能团，碳碳双键（>C=C<）、碳碳三键（—C≡C—）也是官能团。

<sup>①</sup> 酯是由醇与含氧酸（无机酸或羧酸）反应失去水后生成的有机物。



1. 在进行酯化反应的教学时，可结合同位素示踪法确认酯化过程中的断键方式，应注意将乙醇中的氧原子标记为<sup>18</sup>O，若将乙酸羧基中羟基氧标记为<sup>18</sup>O，则由于羧基中羰基氧与羟基氧间存在互变过程，导致无法区分。
2. 关于乙酸性质的探究可以分小组进行设计交流。在初中对酸的通性有一定了解的基础上，学生可以自主设计实验证明乙酸的酸性，具有一定的开放性。在与碳酸氢钠反应过程中还可以得到乙酸酸性强于碳酸的结论。教师应注意采用激励机制，鼓励、引导学生，并要求能运用化学方程式表征实验结论，总结出乙酸分别能与指示剂、金属、碱性氧化物、碱、盐等发生反应，具有酸的通性。

## 7.4 糖、油脂和蛋白质

### ▶ 教学目标

1. 通过葡萄糖、淀粉和纤维素的组成和性质，认识糖类物质在生产、生活中的重要应用，并能根据糖类物质的主要性质进行简单说明。
2. 通过油脂和蛋白质的主要性质及应用，认识化学与科学、技术、社会的密切联系。
3. 通过了解糖类、油脂和蛋白质等营养物质的作用与保持营养均衡的意义，初步形成依据物质性质分析健康问题的意识。

### ▶ 教材解析

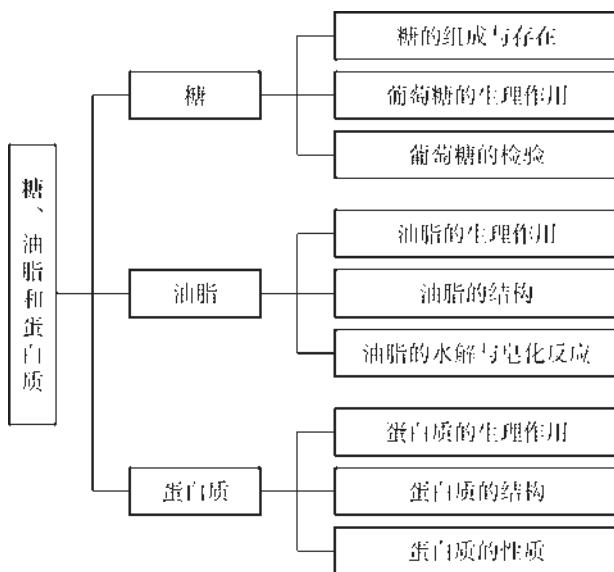
#### 一、教材设计思路

糖类、油脂和蛋白质这三类有机化合物是重要的营养物质，与生命活动密切相关，学生根据生活常识、初中化学与生命科学的学习，对此已有初步了解。教材进一步介绍了糖类、油脂和蛋白质的性质和用途，体现有机化学的应用价值。本节所涉及的有机化合物结构都比较复杂，学生难以仅从结构角度来认识这些物质的性质，因此教材进行了相应简化处理，重点落在从生活经验和实验活动出发来介绍物质的性质，让学生了解糖类、油脂和蛋白质的基本组成、特征反应与用途。

教材首先介绍了糖类，以表格形式呈现了葡萄糖等四种糖类的组成与存在，再以葡萄糖为例介绍糖类的生理作用——能量来源。对葡萄糖的结构不做学习要求，对葡萄糖的检验也仅从试纸检验角度进行介绍，不涉及具体反应原理和化学方程式。

油脂这部分内容首先介绍油脂的分类与生理作用，然后通过其结构通式介绍油脂能发生水解反应的化学性质，进一步解释其用途。由于蛋白质的结构复杂，教材只从结构单元氨基酸角度对肽键的形成进行简单介绍，随后介绍蛋白质盐析、变性、黄蛋白反应等特征反应，由此解释蛋白质在生产生活中的应用。最后通过“链接职业”，引导学生关注膳食营养平衡，帮助学生树立健康生活理念。

## 二、本节内容结构



### 三、教材分析

## 7.4 糖、油脂和蛋白质

#### 学习聚焦

了解糖类、油脂和蛋白质的组成和结构特征

了解糖类、油脂和蛋白质的特征反应

认识糖类、油脂和蛋白质在生产、生活中的重要应用

#### 知识回放

人体重要的营养素

营养素的主要功能和来源

人们为了维持生命和健康，保证正常的生长发育和从事各种体力、脑力活动，每天必须从食物中摄取一定的营养素。重要的营养素有糖类、油脂、蛋白质、维生素、无机盐和水等，除了无机盐和水以外，其他的都是有机物。

### 糖

糖类<sup>①</sup>是许多生命体维持生命活动所需能量的主要来源。我们通常遇到的糖类有葡萄糖、蔗糖、淀粉和纤维素（图 7.33）等。



图 7.33 富含糖类的物质

#### 想一想

阅读表 7.4，讨论下列问题。

表 7.4 葡萄糖、蔗糖、淀粉和纤维素的组成与自然界中的存在

糖的种类	化学式	自然界中的存在
葡萄糖	$C_6H_{12}O_6$	葡萄等水果中
蔗糖	$C_{12}H_{22}O_{11}$	甘蔗、甜菜等植物中
淀粉	$(C_6H_{10}O_5)_n$	大米、小麦等各种谷物中及甘薯、土豆等块茎内
纤维素	$(C_6H_{10}O_5)_n$	蔬菜、木材、棉花等富含植物纤维的植物中

(1) 试从葡萄糖的分子组成解释为什么它们曾经被称为“碳水化合物”。

(2) 淀粉与纤维素的化学式都可用  $(C_6H_{10}O_5)_n$  表示。在一定条件下，两者皆可水解生成葡萄糖，那么它们是同一种物质吗？为什么？

① 从结构上看，糖类一般是多羟基醛或多羟基酮，以及能水解生成多羟基醛或多羟基酮的物质。

#### “想一想”：

(1) 一些糖类的组成不符合“碳水化合物”的形式，如鼠李糖  $C_6H_{12}O_5$  等；一些符合“碳水化合物”形式的有机化合物也不一定属于糖类，如乙酸。

(2) 淀粉和纤维素中都是由葡萄糖单元构成的，但两者中葡萄糖单元间成键方式不同，导致两者性质存在差异，两者也不能互称同分异构体。



#### 贴士

- 教师可以补充定性测定葡萄糖中碳、氢、氧三种元素的存在的实验，帮助学生了解葡萄糖的组成，对“碳水化合物”这一名称能有进一步的理解。具体做法如下：将 4.0 g 葡萄糖和 1.2 g 镁粉均匀混合后平铺在试管底部，用酒精灯加热，镁粉与葡萄糖中的氧化合燃烧，生成单质碳并放出氢气。反应停止待试管冷却，学生可以观察到试管内黑色的焦炭粉和白色的氧化镁，收集的氢气可以点燃。
- 通过各种糖的介绍，打破学生认为糖就是蔗糖、糖就是甜的等错误概念，区分生活语境与化学语境下“糖”的内涵，对糖类物质形成准确的理解。

葡萄糖的结构与还原性糖的检验将在选择性必修课程中进行学习，此处不宜拓展。

葡萄糖是一种最基本的糖类。动物食用淀粉和纤维素后在体内会转化成葡萄糖，葡萄糖的氧化可以放出热量，能为生命活动提供能量。



人体内各组织细胞活动所需的能量大部分来自葡萄糖，所以人体血液中的葡萄糖含量必须保持一定的水平才能维持体内各器官和组织的需要，但血液中葡萄糖的浓度不宜过高或过低。测量血糖，绝大多数情况下测量的就是葡萄糖含量。

“资料库”：葡萄糖在葡萄糖氧化酶的催化作用下形成葡萄糖酸和过氧化氢，过氧化氢在过氧化氢酶的催化作用下形成水和原子氧，以及原子氧可以将某种无色的化合物氧化成有色的化合物，将上述两种酶和无色化合物固定在纸条上，就制成测试葡萄糖含量的酶试纸。

### 实验探究 葡萄糖的检验

取两张葡萄糖检测试纸（图 7.34），分别放在两只洁净的表面皿上。再往检测试纸的纸条上分别滴蒸馏水和 2% 的葡萄糖溶液，待纸条全部浸湿后将多余溶液擦去，静置 30~60 s 后观察纸条颜色的变化。

现象记录：  
\_\_\_\_\_。  
\_\_\_\_\_。

实验结论：  
\_\_\_\_\_。  
\_\_\_\_\_。



图 7.34 滴加蒸馏水（左）和 2% 葡萄糖溶液（右）的检测试纸

### 资料库

葡萄糖检测试纸主要含有葡萄糖氧化酶、过氧化氢酶和显示剂等物质。这种浅蓝色的试纸遇到含葡萄糖的溶液时会发生颜色变化。

## 油脂

油脂（图 7.35）是油和脂肪的统称。室温下呈液态者称为油（一般从植物种子中得到的大多为油），呈固态的称为脂肪（一般来自动物的大多为脂肪）。油脂在人体生命活动中发挥重要的作用，不仅能供给能量、保持体温和保护内脏器官，也能帮助人体对脂溶性维生素的吸收与消化。油脂在代谢中可提供的能量比糖类和蛋白质约高一倍。

在人体中，油脂主要在小肠中由胰腺和肠腺分泌出的脂



图 7.35 各种含有油脂的食品

### 贴士

1. 引导学生认识到葡萄糖氧化生成二氧化碳和水时，放出一定的热量，这和别的有机化合物在氧化时放出热量是类似的。学生虽然不了解葡萄糖在人体内的氧化的复杂过程和重要作用，但可以从氧化放出热量，启发学生领悟葡萄糖是一种重要的营养物质。
2. 在进行油脂教学时，教师一定要让学生区分“酯”和“脂”的概念，区分“油”和“脂肪”的概念，区分矿物油（如汽油）与植物油组成的差异。

肪酶水解，并被吸收。当生命体能量供应不足或对能量有特殊需求时，储存在体内的油脂将被动用，例如在肝细胞和脂肪细胞等组织内发生水解反应，并进行氧化，释放能量。

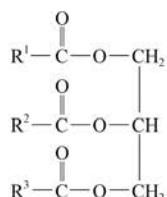
油脂是由高级脂肪酸与丙三醇形成的酯，结构上和乙酸乙酯类似，只是组成油脂的羧酸和醇不同于乙酸乙酯（表7.5）。

表7.5 形成油脂、乙酸乙酯的羧酸和醇

物质	油脂	乙酸乙酯
羧酸	长链的脂肪酸（RCOOH）	乙酸（CH <sub>3</sub> COOH）
醇	丙三醇，俗称甘油〔HOCH <sub>2</sub> CH(OH)CH <sub>2</sub> OH〕	乙醇（CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH）

对比油脂与乙酸乙酯的组成和结构，明确油脂是一种特殊的酯。

可以把油脂写成如下通式：

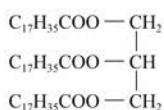


结构式里的R<sup>1</sup>、R<sup>2</sup>、R<sup>3</sup>代表饱和烃基或不饱和烃基，它们可以相同也可以不相同。如果烃基是饱和的，那就是饱和脂肪酸；如果烃基中含有不饱和键，那就是不饱和脂肪酸。高级脂肪酸的碳原子数一般在几个到二十几个。

含饱和脂肪酸较多的油脂常温下呈固态；含不饱和脂肪酸较多的油脂常温下呈液态。

### 书写表达

硬脂酸甘油酯的结构简式如下：



请跟其他同学合作完成其球棍模型或空间填充模型的搭建，观察其分子的空间结构。

“书写表达”：引导学生比较硬脂酸甘油酯的模型与结构简式，理解化学符号系统对于简洁有效表达化学概念的作用。



- 教师可以借助地沟油“变废为宝”的情境，引导学生根据油脂的性质分析讨论解决地沟油的方法，体悟化学在保障食品安全、科学合理使用资源等方面的作用，形成可持续发展的理念。
- 硬脂酸甘油酯结构较复杂，较难直接用实物搭建球棍模型，即使小组配合，要完成任务也十分困难。教师可以组织学生通过相关软件进行分子3D模型绘制，通过旋转、缩放等操作观察硬脂酸甘油酯分子全貌与细节。

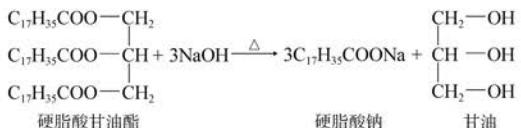
酯类水解在选择性必修课程中会进一步学习，此处仅用于介绍油脂皂化，不建议拓展到其他酯的水解。

引导学生认识该反应对于地沟油的合理利用，避免环境污染、减少食品安全威胁等方面具有的重要意义。

由蛋白质在生物体中广泛存在引入，引导学生获得“蛋白质是生命的基础、生命的存在形式”的初步认识。

使学生初步了解蛋白质结构的复杂性，明确氨基酸与蛋白质之间的关系。对根据多肽结构分析组成的氨基酸不做学习要求。

在有酸存在的条件下，酯类和水发生水解反应，生成相应的酸和醇，酯的水解反应是酯化反应的逆反应。当有碱存在时，碱跟水解生成的酸发生中和反应，此时水解程度更加完全。油脂在碱性条件下的水解反应也叫皂化反应，反应后得到高级脂肪酸钠和甘油，前者是肥皂的主要成分，后者是重要的化工原料。

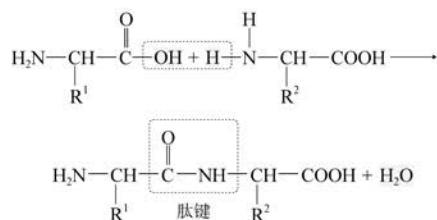


## 蛋白质

蛋白质是生物体内组织的基本组成部分，动物组织的蛋白质含量可达有机物总量的 80% 以上。我们每天饮食中的蛋白质主要存在于瘦肉、蛋类、豆类及鱼类中（图 7.36）。

许多重要的生命和生理现象都和蛋白质密切相关。不同的蛋白质具有不同的生理作用。例如，大多数酶是蛋白质，酶是许多生命活动过程中重要的催化剂。

蛋白质是以氨基酸（图 7.37）为基本结构单元构成的生物大分子。蛋白质水解最终的产物就是氨基酸<sup>①</sup>，成千上万种蛋白质都是由二十几种氨基酸组成的。



在生命体细胞质中的核糖体上，氨基酸分子通过脱水



图 7.36 富含蛋白质的食物

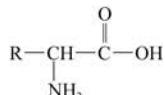


图 7.37 氨基酸的结构简式

<sup>①</sup> 指  $\alpha$ -氨基酸，图 7.37 即  $\alpha$ -氨基酸的结构简式。



- 糖类、油脂、蛋白质涉及的知识面广，容量大。光靠教材介绍不够完整，可以让学生利用课外读物来获取相关知识，并运用多媒体展示研究成果，既激发兴趣又增大容量、提高课堂效率，如播放皂化反应、蛋白质水解等实验视频，提供直观材料。
- 有条件的学校可以补充油脂皂化的拓展实验，加深学生对皂化反应的理解。皂化过程中每隔一段时间可以取出几滴试样放入水中，观察分出油脂的量随时间的变化，直到无油脂残留为皂化完全。向皂化后的溶液中加入氯化钠可以使硬脂酸钠析出上浮，凝固后用玻璃棒取出即肥皂。

互相连接成肽链。两个氨基酸连接生成的产物叫二肽，几十肽就可叫蛋白质。蛋白质含有多肽链，多肽链的氨基酸种类、数目及排列顺序，以及形成的立体结构导致了蛋白质的多样性。

### 化学史话



图 7.38 “人工全合成结晶牛胰岛素五十周年”纪念邮票

1958年底首先进行了天然胰岛素的拆合工作，从1959年开始，由中国科学院生物化学研究所、中国科学院上海有机化学研究所和北京大学化学系等科研单位联合“作战”，把人工合成胰岛素的工作简化到分别合成二十一肽和三十肽，最后通过200多步的合成工作，参照天然牛胰岛素的结构，终于在1965年9月首次人工合成了在结构、生物活性、理化性质、结晶形态等方面都和天然牛胰岛素完全一样的结晶牛胰岛素。

人工合成蛋白质的成功，标志着人类在探索生命奥秘的征途中有了突破性的进展。这一成就震惊了世界，表明当时我国在多肽蛋白质合成方面的科学技术水平已居世界先进地位，体现了我国在现代科学技术研究中的实力。

### 蛋白质的人工合成

20世纪50年代，通过化学家的努力，构成蛋白质的氨基酸的结合方式已经被确定。对蛋白质结构的深入认识，激励着各国科学家展开对人工合成蛋白质的研究。蛋白质的人工合成将使人类在揭示生命奥秘的历程中向前又迈进一大步，同时也体现出一个国家的科学技术研究水平。

由于胰岛素是当时已知的最小的蛋白质分子（只含51个氨基酸），所以各国化学家着手人工合成胰岛素。

我国科学家在当时的历史条件下，这样

“化学史话”：人工合成结晶牛胰岛素是我国化学科学与技术应用的重要成果，是生命科学史上的一个里程碑，更重要的是在当时的历史条件和背景下，这样一个科学项目的成功增强了人们的信心并传播了科学的影响力。

蛋白质中加入浓的盐溶液，能使蛋白质溶解度降低并析出，这种现象称为盐析。蛋白质在热、酸、碱、重金属盐、紫外线等作用下，会变性而凝结，失去生物活性，例如鸡蛋清加热烧熟变成固体。蛋白质和许多试剂反应会发生颜色反应，例如与浓硝酸反应会变黄。



高温、紫外线、75%的酒精都能杀菌消毒的原因分别是什么？

可以借助鸡蛋清溶液演示蛋白质的盐析与变性，比较两者的不同。

硝酸能与带有苯环的氨基酸（如苯丙氨酸、酪氨酸、色氨酸等）形成含有硝基的化合物，使接触部位的组织呈黄色，称为黄蛋白反应。

### 贴士

1. 蛋白质的盐析、变性、黄蛋白反应等所涉及的仪器、操作比较简单，而实验现象适合在近处仔细观察，因此教师可以采用学生实验的方式进行教学，让学生自己总结得出蛋白质的性质。
2. 利用“想一想”中的素材，帮助学生认识在生活中广泛使用的消毒、防腐原理是利用蛋白质的变性，体会化学与生活的密切联系，提高健康生活的意识。还可以让学生进一步列举生活中消毒杀菌实例，并总结其中的化学原理。
3. 教师可结合人工合成牛胰岛素的素材，引导学生认识原始创新能力对国家发展的重要意义。中国人工牛胰岛素合成是在十分艰苦的条件下完成的，它为保障人类生命健康做出了巨大贡献，其经验和精神仍激励我国科学家勇攀科学高峰，不断实现“从0到1”的突破。

除了摄入均衡外，营养素的合理搭配也十分重要，某些营养素能促进另一种营养素的吸收，比单纯增加摄入更有效，常见的有维生素D帮助钙吸收、维生素C促进铁吸收、维生素B<sub>12</sub>提高叶酸吸收等。

“链接职业”：营养师职业是适应人们对健康的需求而产生的。《周礼》中记载西周宫廷中的“食医”掌管饮食滋味温凉及分量调配，可以看做世界上最早的营养师。我国“公共营养师”职业资格认证于2016年底取消，2017年开始实行基于专业协会的“注册营养师”资格认证，对报考人员的专业背景提出了更高的要求。2021年，公共营养师国家技能职业标准颁布。

糖类、油脂、蛋白质都是人类必需的营养素，但是要注意均衡营养，摄入过量或不足都会影响人体健康。

### 链接职业

#### 膳食营养平衡

人类必须不断从外界获取各种营养素，以维持正常的生命活动。膳食营养的供给、摄入要符合人体的生理需求，即建立膳食营养平衡，对于保持人体的健康至关重要。

应社会、市场的需要，产生了一种较新型的职业——公共营养师，他们具备针对食物的丰富的各类化学知识，了解食物对人体营养的影响，进而对膳食营养进行评价、管理和指导，对人体的营养摄入进行干预。公共营养师针对健康和亚健康人群做营养咨询，还可以为企业员工、运动员、家庭提供教育、辅导、指导等服务。

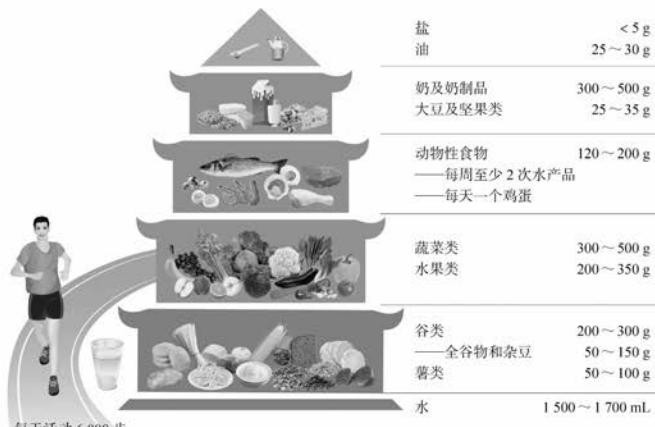


图 7.39 中国居民平衡膳食宝塔 (2022)<sup>①</sup>

<sup>①</sup> 资料来源：中国营养学会。



教师可以组织学生开展有关高中生膳食营养调查的研究性学习，加强对膳食营养平衡的认识，培养合理营养、平衡膳食的意识。

# 本章教学案例

## 不饱和烃中碳原子的成键特点

### 教学目标

- 通过实验现象的对比，认识甲烷与乙烯、乙炔的化学性质不同，形成“结构决定性质”的观念。
- 通过搭建分子结构模型，了解乙烯、乙炔的分子结构，建立不饱和烃、不饱和键、不饱和碳原子的概念，理解有机化合物不饱和程度的量化指标——不饱和度。
- 学会收集键长、键能等信息，归纳乙烯、乙炔等不饱和烃中碳原子的成键特点。
- 运用不饱和度对苯分子的结构进行预测，根据实验现象及相关信息，分析、得出苯分子的合理结构。

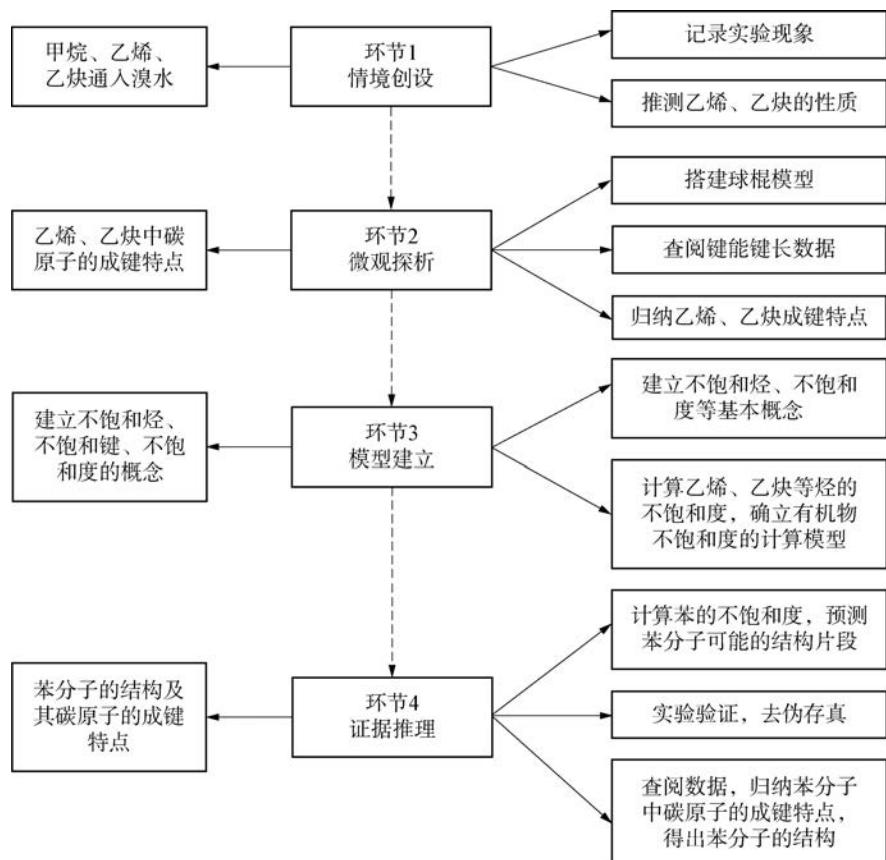
### 教学重点

乙烯、乙炔、苯的分子结构及成键特点。

### 教学难点

苯分子结构的确定。

### 教学思路

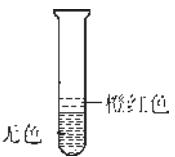


教师活动	学生活动	设计意图									
<p>【课堂引入】上节课我们学习了石油裂解气的主要成分是乙烯、煤化工的产品有乙炔，从它们的名称可知乙烯、乙炔不属于饱和链烃（即烷烃），那么它们在性质和结构上与烷烃有何差异呢？</p> <p>【演示实验】我们不妨将甲烷、乙烯、乙炔三种气体通入溴的四氯化碳溶液中，看看实验现象是否相同。</p> <p>【提问】请结合烷烃的性质分析甲烷通入溴的四氯化碳溶液的实验现象。</p> <p>【追问】乙烯使溴的四氯化碳溶液立即褪色又说明了什么呢？</p> <p>【追问】乙炔使溴的四氯化碳溶液短时间内褪色说明了什么呢？</p>	<p>【记录】实验现象：</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>甲烷</th> <th>乙烯</th> <th>乙炔</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>溴的四氯化碳溶液不褪色</td> <td>溶液很快褪色</td> <td>溶液较快褪色</td> </tr> </tbody> </table> <p>【回答】甲烷与溴的四氯化碳溶液不反应。</p> <p>【回答】乙烯与溴的四氯化碳溶液能发生反应，如果是像甲烷一样带出溴，褪色的速度应该很慢。</p> <p>【回答】乙炔与溴的四氯化碳溶液也能反应，但反应的速率比乙烯稍慢。</p>	甲烷	乙烯	乙炔	溴的四氯化碳溶液不褪色	溶液很快褪色	溶液较快褪色	<p>温故知新，由石油和煤化工引出乙烯、乙炔。</p> <p>创设实验情境，真实感受三种烃性质的差异。</p> <p>对观察记录的实验信息进行加工并获得结论，归纳实验现象背后的化学原理。</p>			
甲烷	乙烯	乙炔									
溴的四氯化碳溶液不褪色	溶液很快褪色	溶液较快褪色									
<p>【过渡】通过实验及对现象的分析可知三类烃的性质不同，其本质原因还在于结构不同。</p> <p>【提问】请同学们总结一下，烷烃分子中碳原子的成键特点。</p> <p>【叙述】不止烷烃，其他有机化合物中碳原子为了达到最外层8电子稳定结构，也都形成4个共价键。</p> <p>【提问】乙烯、乙炔在分子组成上比乙烷分别少2个和4个氢原子，它们分子中每个碳原子是如何成键的呢？请同学们搭建分子模型得出结论。</p> <p>【资料展示】成键原子间的距离和共价键的强弱可分别用键长和键能来表示。 键长：分子中两个成键原子间的核间距。 键能：1 mol 气态分子AB解离为气态原子A和B所需要的能量。以下是查阅资料获得的键长、键能的数据：</p>	<p>【回答】每个碳原子均形成4个共价键，碳原子之间以单键结合成链状，其余的价键均与氢原子结合。</p> <p>【学生实验】根据乙烷、乙烯、乙炔的分子组成，搭建并观察分子的球棍模型。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>乙烷</th> <th>乙烯</th> <th>乙炔</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C<sub>2</sub>H<sub>6</sub></td> <td>C<sub>2</sub>H<sub>4</sub></td> <td>C<sub>2</sub>H<sub>2</sub></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>【归纳】乙烯分子中两个碳原子之间以双键结合，其余的价键均与氢原子结合形成平面形分子；乙炔分子中两个碳原子之间以三键结合，其余的价键均与氢原子结合形成直线形分子。</p>	乙烷	乙烯	乙炔	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>				<p>树立“结构决定性质”的观念。</p> <p>回顾烷烃分子的成键特点，为不饱和烃的内容展开提供理论基础。</p> <p>创设实验情境，亲自动手建立模型，归纳得出结论，提升模型认知的能力。</p>
乙烷	乙烯	乙炔									
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>									
<p>【提问】键能越大，共价键越难断裂，越不容易发生化学反应，为什么乙烯、乙炔的键能比烷烃大却都能与溴的四氯化碳溶液反应呢？</p>	<p>【思考并回答】键能数值：C=C&lt;2(C—C)；C≡C&lt;3(C—C)。可能与溴水反应只需断裂其中的一个键，而双键和三键断其中的一个键比C—C键容易。</p>	<p>引导学生分析键长、键能数据，推测乙烯、乙炔能与溴水反应的可能原因。</p> <p>引起认知冲突，激发学习热情。</p>									

(续表)

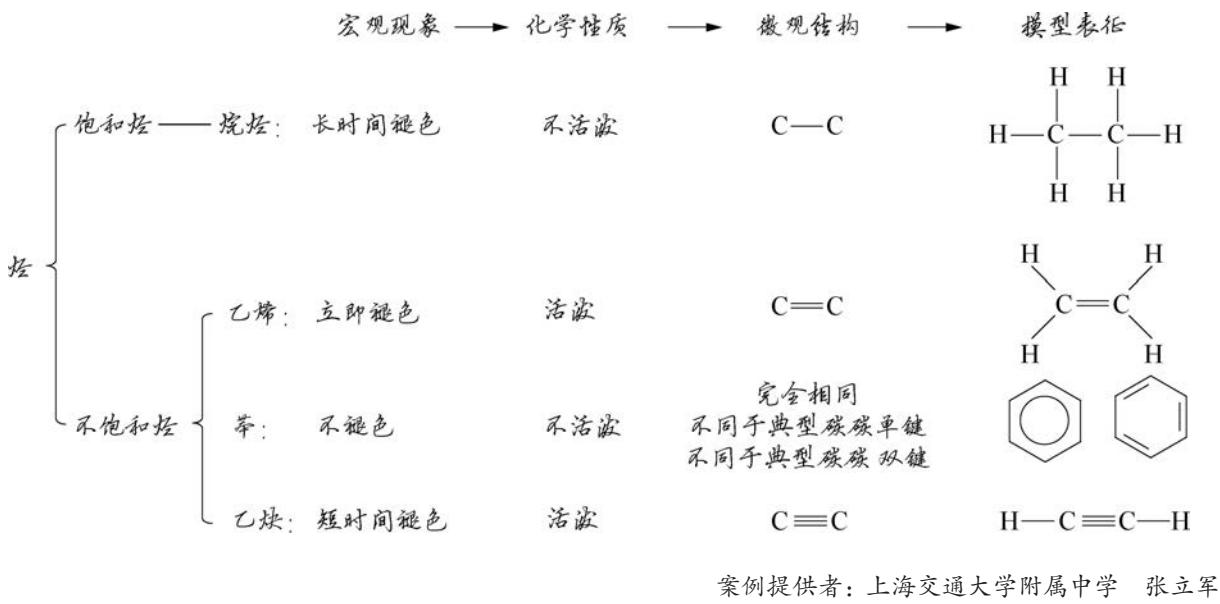
教师活动	学生活动	设计意图																					
<p>【资料展示】进一步查阅资料显示： C=C 中两个共价键的键能是不同的，分别为 397 kJ·mol<sup>-1</sup>、285 kJ·mol<sup>-1</sup>，所以 C=C 中的一个键键能小于 C—C 的键能，容易断裂而发生反应。</p> <p>【提问】为什么乙炔使溴的四氯化碳溶液褪色的速度要慢于乙烯呢？</p>	<p>【思考并回答】可能是因为乙炔分子 C≡C 的键长小于 C=C，故其中键能较小的键，其键能仍然大于 285 kJ·mol<sup>-1</sup>，比 C=C 牢固，故与溴的四氯化碳溶液反应速率比乙烯慢。</p>	<p>通过直观数据，进一步加强“结构决定性质”的观念。</p> <p>应用类推的方法得出结论。</p>																					
<p>【归纳】碳碳双键和碳碳三键称为不饱和键，形成不饱和键的碳原子称为不饱和碳原子，含有不饱和键的烃叫做不饱和烃。</p> <p>【过渡】有机化学中常用不饱和度 (<math>\Omega</math>) 来表示有机化合物的不饱和程度。什么是不饱和度呢？请同学们阅读下列资料。</p> <p>【资料展示】不饱和度又叫缺氢指数，即有机化合物分子中与碳原子数相等的开链烷烃相比较，每减少 2 个氢原子，则有机化合物的不饱和度就相应的增加 1。</p> <p>【提问】请根据资料中不饱和度的概念，计算乙 烯、乙炔、环丙烷 (<math>\text{H}_2\text{C}-\text{CH}_2</math>) 的不饱和度。</p> <p>【小结】结构片段与不饱和度的关系：</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>结构片段</th> <th>C=C</th> <th>C≡C</th> <th>环</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>\Omega</math></td> <td>1</td> <td>2</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	结构片段	C=C	C≡C	环	$\Omega$	1	2	1	<p>【计算】</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>乙烯</th> <th>乙炔</th> <th>环丙烷</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>2</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table> <p>【计算】<math>\Omega = \frac{2n+2-m}{2}</math>。</p>		乙烯	乙炔	环丙烷		1	2	1	<p>形成有机化合物不饱和程度的量化指标，为苯分子结构的推测做好铺垫。</p> <p>建立不饱和度的计算模型。</p>					
结构片段	C=C	C≡C	环																				
$\Omega$	1	2	1																				
	乙烯	乙炔	环丙烷																				
	1	2	1																				
<p>【过渡】英国物理学家和化学家法拉第于 1825 年在制备煤气后的残留液体中首次发现了苯，并确定了其分子式为 <math>\text{C}_6\text{H}_6</math>。</p> <p>【提问】计算苯的不饱和度，并推测其分子结构中可能的 C=C、C≡C、环的个数。</p>	<p>【计算】<math>\Omega = \frac{2 \times 6 + 2 - 6}{2} = 4</math>。</p> <p>【推测】</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>C=C</th> <th>C≡C</th> <th>环</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>2</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>.....</td> <td>.....</td> <td>.....</td> </tr> </tbody> </table>	C=C	C≡C	环	4	0	0	2	1	0	1	1	1	0	2	0	3	0	1	.....	.....	.....	<p>根据计算结果，推测苯分子可能的结构，培养学生的发散思维。</p>
C=C	C≡C	环																					
4	0	0																					
2	1	0																					
1	1	1																					
0	2	0																					
3	0	1																					
.....	.....	.....																					
<p>【提问】根据大家对苯结构的推测，预测苯的化学性质是否活泼。</p> <p>【叙述】请同学们用溴水来验证苯的性质是否活泼。记录现象，得出结论。</p>	<p>【回答】苯分子中不饱和度大，可能含有较多的 C=C、C≡C，因此化学性质活泼。</p> <p>【实验】苯和溴水混合，充分振荡，静置。</p>	<p>对苯环的结构提出多种假设，通过实验验证，去伪存真。</p>																					

(续表)

教师活动	学生活动	设计意图												
<p>【提问】苯的不饱和度较大，为什么不能与溴的四氯化碳溶液反应呢？</p> <p>【追问】究竟苯分子中的碳原子是如何成键的呢？</p> <p>【引导】我们不妨借助数据库，查阅相关数据，来推测苯分子中碳原子的成键方式。</p> <p>【提问】我们需要查阅什么数据呢？</p> <p>【资料展示】以下是查阅数据库所得的有关键长、键能的数据：</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>化学键</th> <th>C—C</th> <th>C=C</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>键长 /nm</td> <td>0.154</td> <td>0.134</td> <td>0.140</td> </tr> <tr> <td>键能/(kJ·mol⁻¹)</td> <td>368</td> <td>682</td> <td>560</td> </tr> </tbody> </table> <p>苯分子中碳碳键的键长、键能均相同，且均介于C—C和C=C之间。</p> <p>【提问】苯分子中的碳碳键是一种怎样的键呢？</p> <p>【提问】要确定苯分子的结构还需查阅的数据是什么？</p> <p>【追问】查阅资料苯环中碳碳键之间的夹角为120°，则苯分子的结构是什么样的？</p> <p>【叙述】苯的结构简式表示为。</p> <p>【说明】在苯分子结构研究的历程中，凯库勒曾经提出单双键交替的平面环状结构，对苯环结构的研究意义重大，故被沿用至今，称为凯库勒式。</p> <p>【总结】不饱和烃中碳原子的成键特点：</p>	化学键	C—C	C=C		键长 /nm	0.154	0.134	0.140	键能/(kJ·mol⁻¹)	368	682	560	 <p>【结论】苯和溴水不反应，只是将溴从水中萃取到了苯中。</p> <p>【思考并回答】苯分子中不存在C=C、C≡C。</p> <p>【回答】由于认知冲突，此处学生可能无法作答。</p> <p>【回答】苯分子中碳碳键的键长和键能。</p> <p>【回答】六个碳原子相互之间的键完全相同，既不同于典型的碳碳单键，也不同于典型的碳碳双键。</p>	<p>制造认知冲突，引发深层次思考。</p> <p>再次体验数据查询和收集对有机化合物结构研究的重要性。</p> <p>通过键长、键能的数据，推测苯分子中碳原子的成键特点，培养学生证据推理的能力。</p> <p>了解历史，体会科学发展的历程，尊重科学工作者的研究成果。</p>
化学键	C—C	C=C												
键长 /nm	0.154	0.134	0.140											
键能/(kJ·mol⁻¹)	368	682	560											

## 板书设计

### 不饱和烃中碳原子的成键特点



## 油 脂

### 教学目标

- 了解油脂的组成、结构和物理性质。
- 通过对油脂化学性质的预测、验证，分析油脂化学性质与其结构的关系，形成官能团决定有机化合物化学性质的观念。
- 通过买油、储油、利用变质油脂等情境，感受化学在保障食品安全、科学合理使用资源等方面的作用。

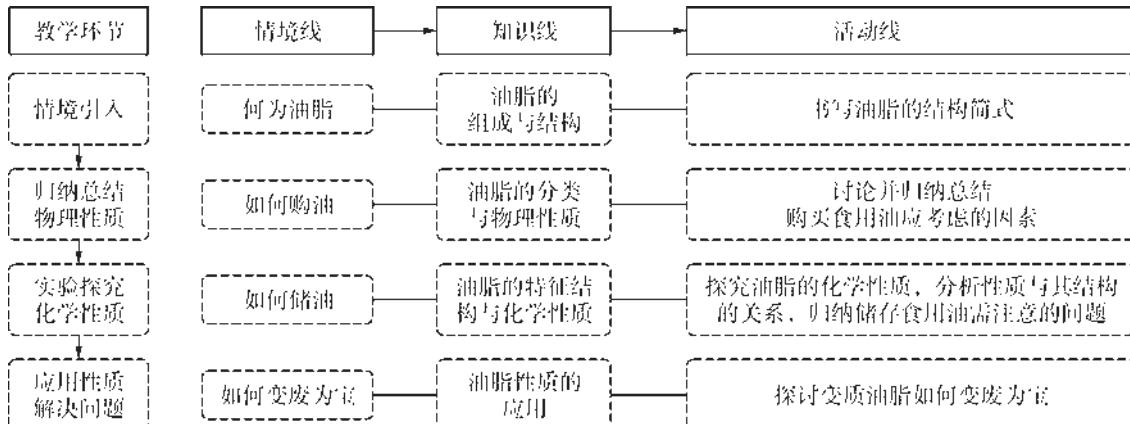
### 教学重点

油脂的组成、结构和性质。

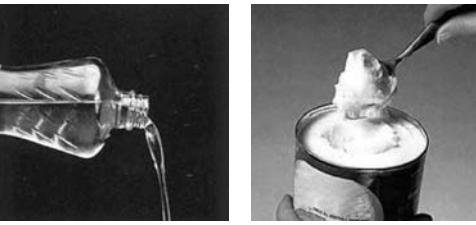
### 教学难点

油脂的特征反应。

### 教学过程



教师活动	学生活动	设计意图
<p>【环节一】何为油脂?</p> <p>【引入】医院体检档案卡展示。</p> <p>【引导过渡】血清“甘油三酯”测定是血脂分析的常规项目。甘油三酯的主要功能是供给与储存能源,还可固定和保护内脏。血浆中的甘油三酯的来源主要有外源性油脂的吸收和体内自身合成。</p> <p>【问题1】生活中,哪些物质富含油脂?</p> <p>【问题2】什么是油脂?</p> <p>【小结】油脂属于特殊的酯,特殊在:酸指高级脂肪酸,醇指甘油(丙三醇)。</p> <p>【问题3】下列物质哪些不属于油脂?</p> <p>大豆油、花生油、柴油、椰子油、甘油、猪油、汽油、棕榈油、牛油、羊油、乙酸乙酯。</p> <p>【问题4】请根据提示写出油脂的结构简式。</p>	<p>观看图片。</p> <p>【回答】花生,化妆品,豆油,人的脂肪……</p> <p>【回答】油脂是高级脂肪酸和甘油形成的酯。</p> <p>【回答】柴油、汽油、乙酸乙酯、甘油。</p> <p>书写结构简式。</p>	<p>从生活引入,更易调动学生的学习热情。创设生活情境,为学生搭建学习的阶梯。化学学科核心素养“证据推理”要求学生可以通过分析、推理等方法认识研究对象的组成、结构。学生根据老师的提示,仿照乙酸乙酯的学习,学习书写油脂的组成与结构,达成知识的迁移。</p>
<p>【环节二】如何购油?</p> <p>【问题1】炒菜为什么要放食用油?它的好处何在?</p> <p>【教师总结】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A、D、E、K等,以利于人体吸收。</p> <p>【问题2】超市里众多品牌种类的食用油,该如何选择?你会考虑哪些因素?</p> <p>【引导过渡】展示葵花籽油广告,从商家的角度来看,买家会关注食用油的哪些特点?广告里写着“富含亚油酸,亚油酸有助于降低胆固醇,中老年人可经常食用”,那么亚油酸是什么呢?展示亚油酸分子式和结构简式。</p> <p>【追问1】亚油酸与乙酸有何相同点和不同点呢?</p> <p>【教师总结】将碳原子数一般在几个到二十几个的羧酸称为高级脂肪酸。按照烃基的不饱和程度进行分类,可分为饱和高级脂肪酸和不饱和高级脂肪酸。</p> <p>【资料1】现代营养学研究表明,含不饱和高级脂肪酸成分多的油脂营养比较高,因为其中的不饱和高级脂肪酸对大脑、心血管、肝脏都有良好的保健作用。有些脂肪酸是人体不能合成的,需要从食物中摄取(亚油酸、亚麻酸、花生四烯酸),称之为必需脂肪酸,其中亚油酸最重要,如果有了它,人体就能合成另外两种有机酸。</p> <p>【资料2】</p> <p>亚油酸: <math>\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3(\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH})_2(\text{CH}_2)_7\text{COOH}</math></p> <p>亚麻酸: <math>\text{CH}_3(\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH})_3(\text{CH}_2)_7\text{COOH}</math></p> <p>花生四烯酸: <math>\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3(\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH})_4(\text{CH}_2)_3\text{COOH}</math></p> <p>EPA: <math>\text{CH}_3(\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH})_5(\text{CH}_2)_3\text{COOH}</math></p> <p>DHA: <math>\text{CH}_3(\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH})_6(\text{CH}_2)_2\text{COOH}</math></p> <p>【追问2】从资料中你得到哪些信息?</p> <p>【教师总结】资料不仅解释了广告里的卖点,同时也告诉我们再去买油的时候,选取富含不饱和高级脂肪酸成分多的油更好。</p>	<p>【回答】有营养,炒出的菜有光泽、更香,熟得快,不粘锅,保温,溶解不溶于水的营养物质……</p> <p>【回答】价格,品牌,色泽,气味,工艺,成分……</p> <p>【回答】相同点是都含有羧基。不同点是亚油酸含有碳碳双键,并且碳原子数目要多一些。</p> <p>【回答】人体自身不能合成亚油酸,需要食补。</p>	<p>从真实情境中,提炼需要解决的化学问题,激发学生兴趣。让学生体会到油脂的多种分类方式,进一步认识油脂的结构,为后续探究化学性质打下基础。理清油脂的物理性质与如何买油之间的关系,从而落实化学学科核心素养“科学态度与社会责任”的培养要求,学生会自主的赞赏化学对社会发展的重大贡献。</p>

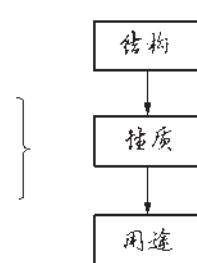
教师活动	学生活动	设计意图
<p>此外，还可以根据烃基的种类分类，根据油脂的状态进行分类。</p> <p>【追问3】常温下，油脂是液态还是固态取决于什么呢？</p> <p>【问题3】观察提供的实物，总结油脂具有哪些物理性质？</p> <p>【教师总结】平日见到的食用油是淡黄色的，这是由于其中添加了色素。食用油的生产工艺主要有2种，一种是物理压榨法，另一种是化学萃取法，从食品安全的角度出发，选取物理压榨食用油更好。</p> <p>【追问4】下次再去超市，你会如何选择食用油呢？</p>	<p>【回答】与油脂的结构有关。液态的油是含较多不饱和脂肪酸成分的甘油酯。固态的脂肪是含较多饱和脂肪酸成分的甘油酯。</p> <p>【回答】油脂一般无色、无味。油脂密度小于水的密度，难溶于水，易溶于有机溶剂，黏度较大。</p> <p>【回答】工艺——物理压榨；成分——含不饱和高级脂肪酸成分多的油脂；色泽——颜色浅一些；气味——淡淡的香味。</p>	
<p>【环节三】如何储油？</p> <p>【问题1】超市大减价，一次性买了好多油，储存时应注意什么呢？</p> <p>【追问】食用油用过后若经常忘记盖上盖子，时间一长，油就会有了一股特殊的气味——哈喇味。可能的原因是什么？</p> <p>【讨论】油脂变质发生的是化学反应，化学性质与物质的结构有关。请根据油脂结构，预测化学性质，预测实验现象，并用所给试剂验证猜想，说明反应类型。实验试剂：豆油、高锰酸钾溶液、溴水、30% NaOH溶液等。</p> <p>【播放视频】播放提前录制的实验视频：《豆油碱性条件下水解制皂》。将10 mL食用油、10 mL 30%氢氧化钠溶液、6 mL 95%乙醇加入蒸发皿中，加热搅拌，不断有固体析出，停止加热。将配制好的饱和氯化钠溶液加入蒸发皿中，静置，纱布过滤，收集滤液。滤渣定型晾干，得到肥皂块儿。</p> <p>【总结】豆油含有酯基和碳碳双键，可以发生水解反应、氧化反应和加成反应。</p> <p>【练习1】以硬脂酸甘油酯为例，分别写出在酸性和碱性条件下其水解反应的化学方程式。</p> <p>【练习2】以油酸甘油酯为例，写出其与氢气的加成反应的化学方程式。</p> <p>【图片展示】</p>  <p>液体植物油      加氢后转化成的固体油脂</p>	<p>【回答】防止变质，放在阴暗，干燥的环境。</p> <p>【回答】可能被空气中的氧气氧化。</p> <p>【回答1】豆油是液态的油脂，含有碳碳双键，可以与氢气、溴单质等发生加成反应。</p> <p>【回答2】含有碳碳双键，可以发生氧化反应。</p> <p>【回答3】含有酯基，可以发生水解反应。</p> <p>【分组实验】</p> <p>【实验结果展示与分析】</p> <p>小组1：豆油属于酯类物质，酸性或碱性条件下能发生水解反应。可以通过观察产物中油层是否减少来验证猜想。</p> <p>小组2：含有碳碳双键，可以与高锰酸钾发生氧化反应，紫色褪去。</p> <p>小组3：含有碳碳双键，可以与溴发生加成反应。向试管中加入1 mL稀溴水，再加入1 mL豆油，振荡后橙色消失。</p> <p>小组4：能发生加成反应，因为液态的豆油凝固了，不饱和的油脂变成了饱和的油脂。</p>	<p>引导学生应用研究有机化合物的思维模型，由结构预测化学性质，从宏观和微观相结合的视角分析问题。</p> <p>通过实验探究油脂的化学性质，培养学生证据推理的能力。</p> <p>展示油脂的工业应用，引导学生理解油脂的化学性质与解决“如何储油”这一问题之间的关系。</p>

(续表)

教师活动	学生活动	设计意图
<p>【播放视频】豆油的氢化。</p> <p>【总结】在工业中，液态的油转变为半固态的脂肪的过程是油脂的氢化（硬化）。</p> <p>【资料1】植物油中的不饱和脂肪酸可经催化制成饱和脂肪酸。此过程中，分子结构发生变化，生成了反式脂肪酸。</p> <p>【资料2】饱和脂肪酸及反式脂肪酸对人体的危害。 饱和脂肪酸会使胆固醇附着在血管壁上，引起血管类疾病和心脏病。 反式脂肪酸改变我们身体正常代谢途径：增加患冠心病的危险性，易导致心脑血管疾病的发生，对生长发育有抑制作用，尤其会对婴幼儿的大脑和神经系统发育产生不利影响等。</p> <p>【问题2】油脂的氢化在工业生产中有何优势和劣势？</p> <p>【资料3】在微生物的作用下，食用油经一系列作用生成具有臭味的酮，甚至会产生黄曲霉毒素（其毒性超过眼镜蛇的毒汁）。长期食用变质油对人体健康有害，轻者呕吐、腹泻，重者能引起肝脏肿大，引起各种炎症。</p> <p>【总结】食用油的储存要注意避光避热，使用后要密封好放置。</p>	<p>【回答】优点是固态便于运输和储存并且氢化油性质相对稳定，能延长保质期。 缺点是长期食用，对身体不好。</p>	
<p>【环节四】如何变废为宝？</p> <p>【问题】变质油能否被再利用呢？</p> <p>【资料1】制生物柴油的简易流程图。</p> <p>【总结】碱性水解制皂，酸性水解制生物柴油，还可以制航空油，润滑油，选矿药剂等。</p> <p>【资料2】国外废油的处理方法。</p> <p>【教师总结】本节课围绕着4个问题展开学习：何为油脂？如何购油？如何储油？如何废油再利用？4个问题来源于生活，而答案与油脂的组成、结构、物理性质、化学性质有关，问题来源于生活，答案来源于化学知识，化学与生活息息相关。</p>	<p>【回答】碱性水解制肥皂。</p>	<p>帮助学生理解油脂化学性质的应用与如何利用变质油之间的关系。</p> <p>展示基于油脂性质在工业上的应用，引导学生学习废物利用，变废为宝的理念，激发社会责任感。</p>

## 板书设计

- 一、油脂的组成与结构
- 二、油脂的分类与物理性质
- 三、油脂的化学性质
- 四、油脂的用途



案例提供者：上海市控江中学 肖飞

# 本章教学问题讨论与教学资源链接

## 实验讨论

### 1. 制作甲烷、乙烯等分子空间结构模型

第7章第1节在介绍饱和烃——甲烷的分子结构和性质时，通过“实验探究”引入了“制作甲烷等分子空间结构的模型”的实验，旨在通过引导学生利用身边的适宜材料搭建出甲烷、乙烯、乙炔、乙醇、乙酸等典型有机化合物的分子结构实物模型，观察并探究碳原子的成键特点，强化碳四价原则，认识到有机分子具有立体空间结构的特征。制作分子空间结构模型时需注意以下方面：①利用一盒分子模型，搭建有机分子的球棍模型时，要注意不同颜色的小球代表不同的原子，球上打有不同角度的孔，在孔上插入不同长度的棍子可以代表不同成键形式原子间的键长。通过甲烷、乙烯、乙炔三个分子模型，引导学生认识碳原子所形成的单键、双键、三键共价键的键长与键角的特点。②没有分子模型，采用身边适宜的材料（如牙签或细短木棍代替共价键，黏土、橡皮泥或糖果等代表成键原子）进行拼接简单有机化合物结构模型时，要注意合适的键角角度以及键长短差异。③教师还可以指导学生利用化学专业软件ChemBioOffice中的ChemBio3D Ultra模块，绘制有机化合物的虚拟球棍模型来观察分子空间结构，通过绘建空间填充模型，还可以让学生直观判断碳原子与成键原子的结合程度、 $\sigma$ 键与 $\pi$ 键电子云分布情况，从而引导学生了解共价键键能的属性。

### 2. 乙醇、水和钠反应的实验对比

第7章第3节中的“乙醇、水和钠反应的实验对比”的实验，旨在让学生通过直观的实验现象，认识到乙醇分子中羟基上的氢原子具有一定活泼性，可以与金属钠反应，被钠原子置换出来，生成氢气与乙醇钠。但是取同样绿豆大小的钠块，可以直观观察到，钠块在无水乙醇里平缓溶解并产生气泡，而钠块在水中反应非常剧烈，被产生的氢气推动在培养皿水面上到处游动。老师可以引导学生认识到乙醇的羟基氢与水的羟基氢反应活泼性存在差异，进而分析存在差异的原因主要在于相对水分子中的氢原子对于O—H的影响来说，乙醇中的乙基（—C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>）是一个更强的推电子基团：

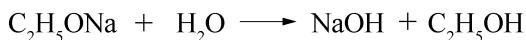


这样导致乙醇中的O—H键上氢原子带有的正电荷会少，可极化性降低，不易给出质子，因此乙醇的pK<sub>a</sub>数值（15.9）比水大一些（pK<sub>a</sub> 15.7）。

该实验的操作存在一定的危险性，需要注意的是：①装无水乙醇的大试管要保持洁净并且干燥；②玻璃蒸发皿内的水中滴入少量洗涤剂的作用主要是反应产生的氢气促使洗涤剂鼓气泡并且被封在泡

内，后续利于点火枪点燃；③ 导气管不宜太短，要让氢气燃烧的火焰远离大试管；④ 市售的钠块一般是浸泡在石蜡油里，实验前需要用镊子夹取钠块放到干燥石油醚里洗去石蜡油，并用刀片切去表面氧化层，再剪取带有金属光泽的适量大小钠块进行实验；⑤ 本实验使用的钠块不宜过大，否则钠块与水反应剧烈，释放出的大量热量有可能会引燃反应生成的氢气，造成安全隐患。

实验结束后，分别向大试管与培养皿的反应液中滴入酚酞指示液，让学生观察颜色是否有变化。固体乙醇钠是一种具有强碱性的醇钠盐，溶于无水乙醇，遇水会发生水解生成氢氧化钠与乙醇。



老师根据此实验性质，可以提问学生如何正确处理实验室里的残留钠块？一般先用无水乙醇将钠块消耗掉，然后再用水稀释，最后作为无机废液进行处理。

### 3. 乙醇的催化氧化

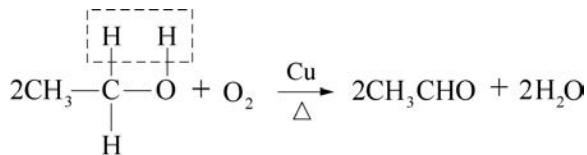
第7章第3节在介绍乙醇的化学性质时，通过“实验探究”引入了“乙醇的催化氧化”的实验，旨在让学生观察实验现象，学会对产物进行分析、推测及检验的化学方法，使学生直观地理解并掌握乙醇羟基可以通过脱氢氧化成相应的乙醛这一知识点。

实验装置的连接与操作方面要注意下述关键问题：① 进行催化氧化反应前，尾气吸收装置必须连接好。因为乙醛是沸点20.8℃的无色液体，有刺激性气味，属于世界卫生组织国际癌症研究机构公布的2类致癌物，利用乙醛可以与水互溶的性质，反应中生成的乙醛通过尾气吸收装置溶解到水里，防止有害气体挥发。② 铜丝发热发红后，挤压双连球鼓入空气让更多的氧气参与反应，这时要及时切断电源。乙醇与乙醛都是易燃物，乙醛蒸气与空气混合气体体积比达到4%~57%时，碰到电火花或明火会产生爆炸。

实验中铜是作为催化剂，实际上乙醇是先在氧化铜作用下被氧化为乙醛，氧化铜被还原为铜，氧气可以将铜又氧化为氧化铜，继续促进反应。

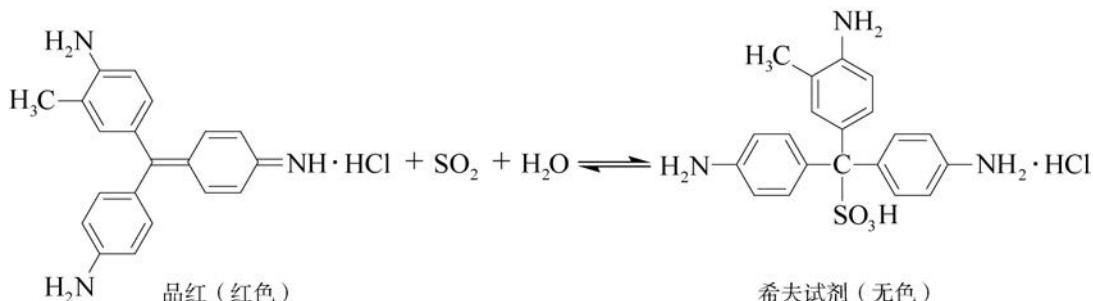


将反应式(1)与(2)合并，可以看到反应前后铜是没有变化的，所以铜在此反应中是催化剂催化乙醇的脱氢氧化。

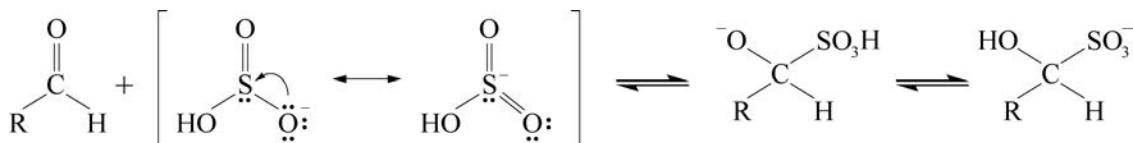


希夫(Schiff)试剂又称品红亚硫酸试剂，溶液呈无色，如呈粉红色就不能用，须重配。其配制方法为：将0.5g碱性品红溶解到100mL热蒸馏水中，待溶液冷却至50℃时，过滤。将澄清滤液冷却至室温后加入10mL1.0mol·L<sup>-1</sup>盐酸和1.0g亚硫酸氢钠(NaHSO<sub>3</sub>)或1.5g偏重亚硫酸钠(Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)，

放置暗处，静置 24 h。然后加入 0.25~0.5 g 活性炭摇荡 1 min，过滤，将无色滤液装入棕色瓶中塞紧瓶塞，保存于冰箱内（0~4℃），用前预先取出，使之恢复至室温后再用。



希夫试剂能跟醛作用显紫红色，与酮作用不显色。这一显色反应非常灵敏，可用于鉴别醛类化合物。使用这种方法时，溶液中不能存在碱性物质和氧化剂，也不能加热，否则会消耗亚硫酸，溶液恢复品红的红色，出现假阳性反应。希夫试剂中的  $\text{SO}_3\text{H}^-$  作为亲核试剂，可以与活性高的醛基进行亲核加成反应，生成  $\alpha$ -羟基磺酸类化合物，品红恢复对苯醌式结构，呈红色。



#### 4. 乙酸的化学性质

第 7 章第 3 节在介绍乙酸的分子结构与化学性质时，通过“实验探究”引入了“乙醇的化学性质”实验，旨在让学生自主设计乙酸与不同药品的实验，通过亲自操作并直观地观察实验现象，记录实验结果，深入认识羧基—COOH 官能团的结构特点，其中极性共价 O—H 键受羧基的拉电子影响，键的极性增强，更容易断裂，体现出一定的酸性，而极性共价 C—O 单键也受羧基的影响易发生断裂，可以与乙醇发生酯化反应。

老师教学时要注意引导学生将实验操作、实验现象、实验结果与讨论进行归纳与列表总结，分析现象产生的本质原因，最后得出结论。

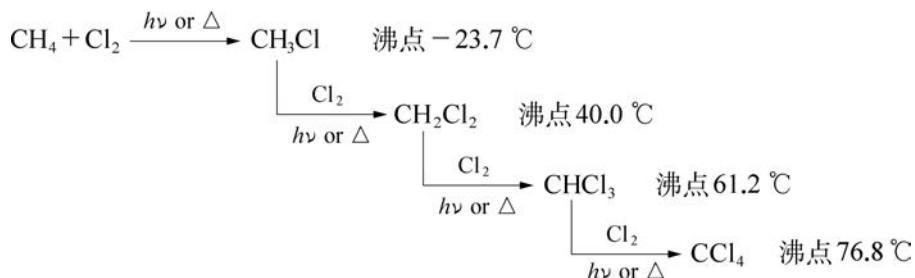
## 教学疑难问题解析

### 1. 烷烃的取代反应

烷烃分子中只存在 C—H 与 C—C 共价  $\sigma$  键，成键的两个原子的轨道重叠程度大，共价键结合牢固，并且键能较大（其中 C—H 390~435 kJ · mol<sup>-1</sup>，C—C 345.6 kJ · mol<sup>-1</sup>），不易断裂；另外，烷烃中 C 与 H 的电负性相差很小，C—H 是非常弱的极性键，难以发生极化而断裂。因此，烷烃在一般情况下反应活性很低，很难与强酸、强碱、强氧化剂等发生反应。但是烷烃的稳定性也不是绝对的，在高温、光照或者催化剂等条件下可以与卤素发生取代反应，生成卤代烃类物质。

#### （1）甲烷的氯代反应

当甲烷和氯气这两种气体混合物在光照（日光或紫外光，用  $h\nu$  表示）或者加热（用  $\Delta$  表示）到 250~400℃ 高温的条件下，可以发生剧烈反应，生成甲烷中氢原子被氯原子取代的各种氯代物。

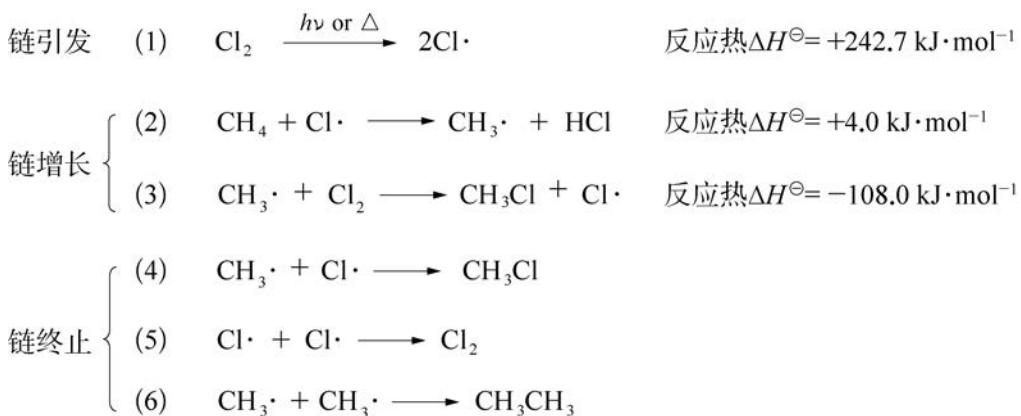


这个反应很难停留在单取代的阶段，随着反应的进行，得到的是一氯甲烷、二氯甲烷、三氯甲烷与四氯化碳的混合物。工业上，可以利用这些产物的沸点差异通过精馏的方式将混合物进行分离与提纯。能否通过控制反应条件来尽量得到单一的产物呢？一般可以通过控制反应物的物料比来提高产物的选择性生成。工业上使用甲烷与氯气摩尔投料比为 10 : 1 时，产物以一氯甲烷为主；当甲烷与氯气摩尔投料比调整为 1 : 4 时，则主要得到四氯化碳的产物。

## (2) 甲烷的氯代反应历程

上述反应要成功的条件是甲烷与氯气的混合气体必须放在室温有光（日光或高压汞灯）或者加热高于 250℃ 条件下。若放置在黑暗或室温的条件下不会发生反应。那么反应为什么要有这样的条件下？甲烷分子又是如何变成氯代甲烷类分子的呢？对这些问题的回答，我们就需要知道反应历程（mechanism），有时也叫反应机理或反应机制。反应历程就是对一个化学反应逐步变化过程详细的描述。根据反应机理，能理解反应变化的本质和规律，不仅有利于总结和记忆大量的反应，并且可以运用反应规律去预测某些反应的可能结果。

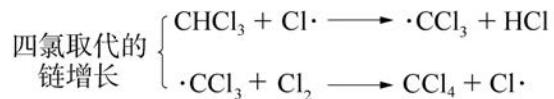
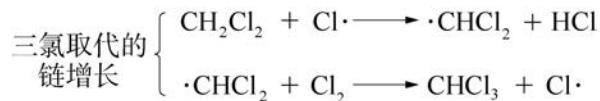
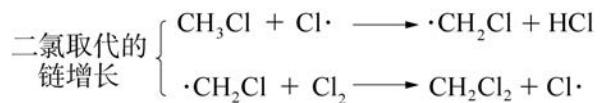
烷烃的卤代反应早已被证明是一类自由基反应，一般包括链引发（initiation）、链增长（propagation）、链终止（termination）三个阶段。具体反应历程如下：



从反应热分析，第（1）步是一个吸热反应，氯分子必须要吸收光或热提供的能量，Cl—Cl 键才会均裂生成二个氯自由基，这是反应的开始阶段，称为链引发。氯自由基带有 1 个未成对的单电子，反应活性很高。当它与甲烷分子碰撞时，夺取甲烷分子中的 1 个氢原子形成 HCl，同时生成甲基自由基，即第（2）步反应，也是吸热反应。甲基自由基也是非常活泼，当它与氯分子碰撞时，夺取 1 个氯原子生成氯甲烷，同时产生氯自由基，即第（3）步反应，这是放热反应，所提供的能量足以保证第（2）步反应的进行，因此，新生成的氯自由基又可以重复第（2）（3）两步反应，整个反应就像一条锁链，一经引发，就一环扣一环使链传递下去。因此，又称为自由基链反应。第（2）与（3）步不断产生氯

甲烷和氯自由基，所以称为链增长阶段。随着反应的进行，反应体系中甲烷和氯的浓度不断降低，这时自由基之间相互碰撞的概率增大，反应体系里的自由基一旦碰撞结合，就发生上述的第(4)~(6)步反应，自由基就被消耗掉，反应链不能继续发展，反应将逐渐停止。这三步就属于链终止阶段。

反应中除了生成氯甲烷外，还可以得到二氯甲烷、三氯甲烷和四氯化碳产物。这些产物的生成是分别经过了下面的链增长反应而进行的。



## 2. 有机化合物数目庞大的原因

有机化合物是指含碳的化合物，但是不包括一氧化碳、二氧化碳、二硫化碳、碳化硅（钙）、金属羰基化合物，以及碳酸、氢氰酸、氰酸、硫氰酸、异氰酸、异硫氰酸及相应的盐等。

据统计目前已知的有机化合物以达数千万之多，并且每年还以数十万的数量增长着。元素周期表中与碳原子成键形成有机化合物的元素仅十余种，但是为何有机化合物数目如此庞大？主要有以下原因：

(1) 碳原子成键方式多样，碳原子可与其自身或其他原子以共价 $\sigma$ 键、 $\pi$ 键形成单键、双键、三键形式。

(2) 碳原子组成的分子骨架形式多样，不仅可以组成链状，还可以组成环状。如图7-2所示：链状可以是直链也可以是支链；环状包括碳环（脂环、芳香环）和杂环（脂杂环、芳杂环）类。

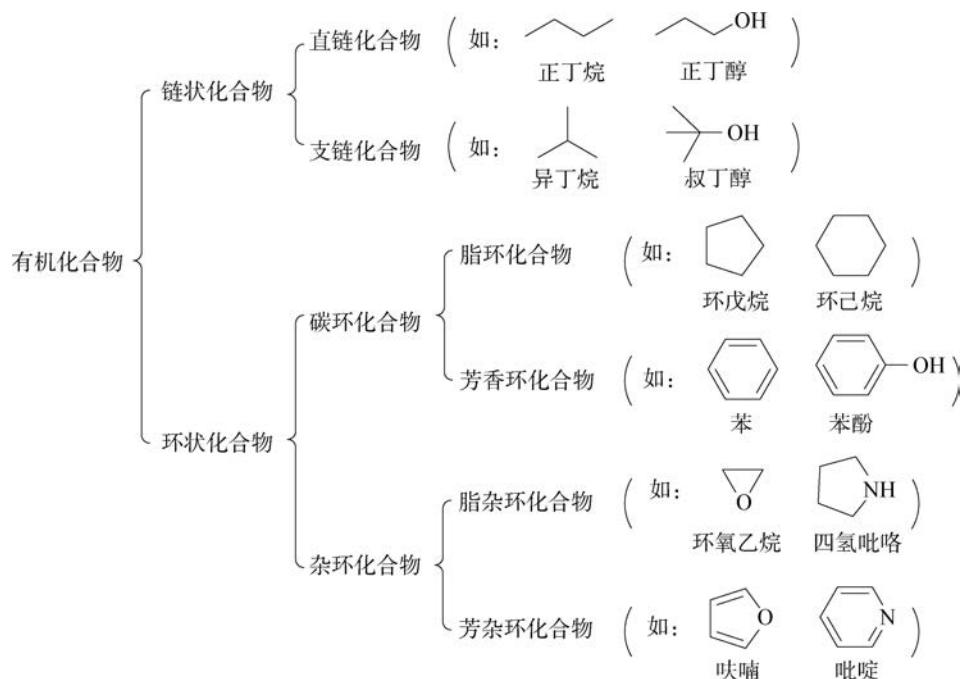


图 7-2 碳原子组成的分子骨架形式

(3) 有机化合物具有非常丰富的同分异构体现象，从有机化合物的构造、构型和构象三个结构层次可以分为图 7-3 中的几类。



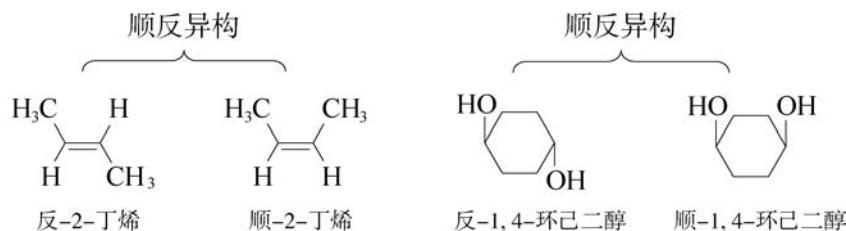
图 7-3 同分异构体

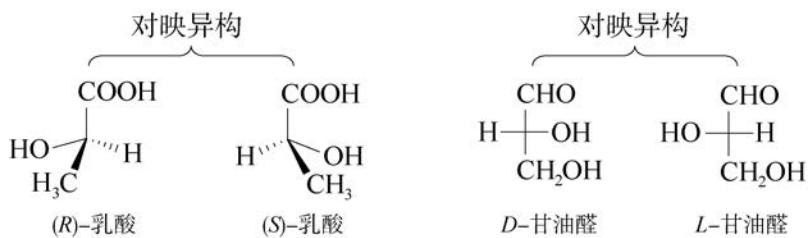
① 构造异构是指具有相同的分子式，由于分子中原子或原子团的连接顺序或方式不同而产生的异构现象，主要有碳链异构、官能团异构、位置异构和互变异构（表 7-2）。

表 7-2 构造异构

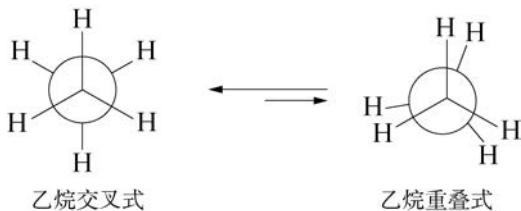
异构类型	异构原因	举例
碳链异构	由于碳骨架不同	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ 正丁烷 $\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CHCH}_3 \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$ 异丁烷
位置异构	由于原子或原子团在碳骨架上位置不同	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{C}_6\text{H}_4-\text{OH} \end{array}$ 2-甲基苯酚 $\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{OH} \\   \\ \text{O} \end{array}$ 3-甲基苯酚
官能团异构	官能团种类不同	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$ 正丁醇 $\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCH}_3 \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$ 乙醚
互变异构	由于一原子在两个位置移动而导致可以互相转变的一种特殊官能团异构	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCOCH}_3 \end{array}$ 2,4-戊二酮 $\rightleftharpoons$ $\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{CH}_3\text{CH}=\text{C(OH)}\text{COCH}_3 \end{array}$ 4-羟基-3-戊烯-2-酮

② 构型异构是指具有相同的分子式，各原子或原子团的连接顺序与方式也相同，但是原子或原子团在空间排列方式不同而产生的异构现象，主要有顺反异构和对映异构。例如：





③ 构象异构是指具有相同的分子式，由于碳碳单键的旋转而导致分子中原子或原子团在空间排列方式的不同所产生的异构现象，如乙烷分子的交叉式和重叠式构象。例如：

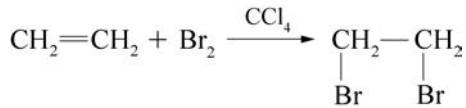


由于单键的旋转角度可以任意，而且分子旋转时需要的能量非常小，在室温下分子处于无数个构象异构体的动态平衡中，无法分离出构象异构体。所以，在书写同分异构体时，不需要写出构象异构体。

### 3. 乙烯的加成反应与氧化反应

#### (1) 乙烯与卤素的加成反应

乙烯与卤素（主要是  $\text{Cl}_2$ 、 $\text{Br}_2$ ）容易发生加成反应。例如，将乙烯通入溴的四氯化碳溶液中，发生加成反应得到 1, 2-二溴乙烷。

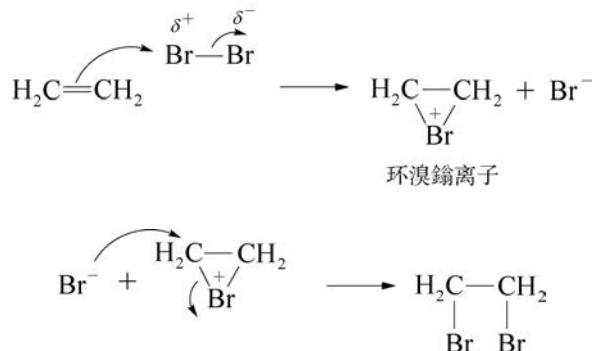


但是如果乙烯是通入溴水溶液中，发现反应产物除了 1, 2-二溴乙烷外，还生成了 2-溴乙醇  $\left( \begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}_2 \\ | \qquad | \\ \text{Br} \qquad \text{OH} \end{array} \right)$ 。

为什么会出现这样的情况？这需要了解乙烯与卤素加成的反应历程。

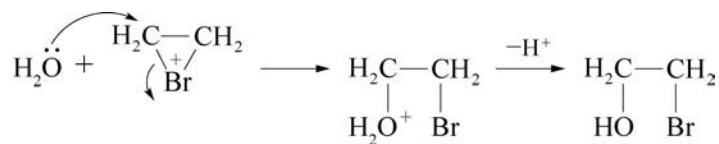
#### (2) 亲电加成机理

烯烃与溴的加成反应不是两个溴原子同时加到两个碳原子上，而是分两步完成的一个亲电加成机理，反应历程如下：



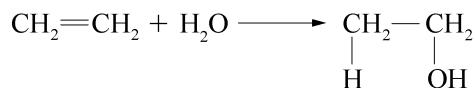
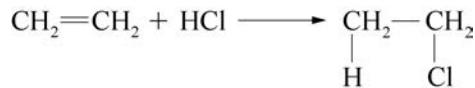
当烯烃与溴接近时，溴分子受烯烃  $\pi$  电子作用而发生极化，Br—Br 键发生异裂，溴正离子  $\text{Br}^+$  与烯烃生成带正电荷的三元环中间体，称为环溴𬭩离子（cyclic bromonium ion），另外还生成一个溴负离子  $\text{Br}^-$ ，然后  $\text{Br}^-$  从背后进攻环上的一个碳原子，生成加成产物。这个反应是由溴正离子  $\text{Br}^+$ （亲电试剂）进攻引起的，所以称为亲电加成（electrophilic addition）。

如果上述反应是在水溶液中进行，那么水分子中氧原子带有未成对电子，可以发生类似溴负离子  $\text{Br}^-$  的进攻加成反应，最后脱去一个质子得到 2-溴乙醇产物。

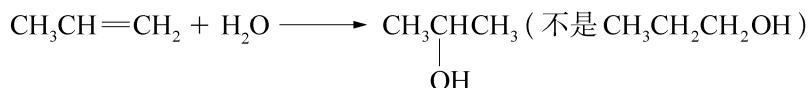
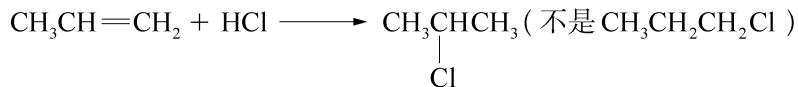


### (3) 马氏规则 (Markovnikov's rule)

乙烯除了与卤素发生加成外，还可以与卤化氢、水等极性试剂发生加成反应。例如：



将乙烯换成其他烯烃，也能发生类似的加成反应。例如丙烯与 HCl、 $\text{H}_2\text{O}$  加成，分别得到了 2-氯丙烷与 2-丙醇，为何加成没有生成括号里面的相应产物？

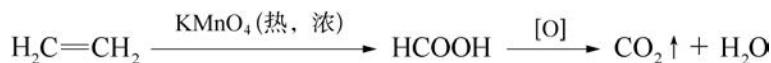


实验已经证明，当非对称的烯烃与卤化氢等极性试剂发生亲电加成时，氢原子主要加在含氢较多的双键碳原子上，其他原子和原子团加在含氢较少的双键碳原子上。这个经验规律叫做马尔可夫尼可夫规则（Markovnikov's rule），简称马氏规则。

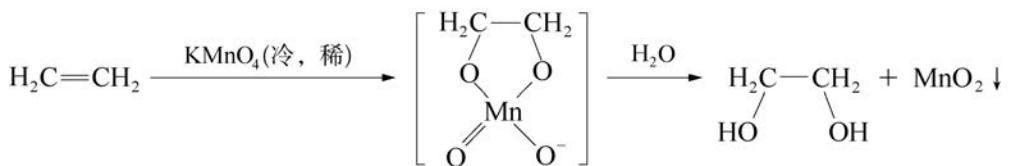
### (4) 乙烯的氧化反应

乙烯的 C=C 双键容易被高锰酸钾、臭氧、过氧化物等氧化剂氧化，生成不同的氧化产物。

① 用热、浓的高锰酸钾溶液（酸性或碱性），乙烯首先被氧化为甲酸，然后进一步氧化为碳酸，在热的条件下最后分解为二氧化碳与水，高锰酸钾溶液的紫红色褪色。

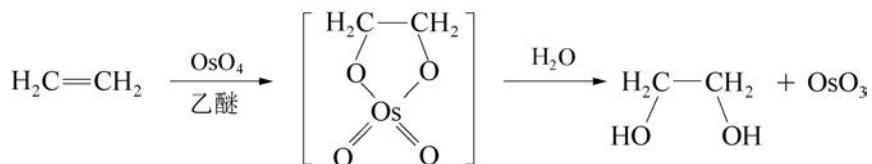


② 用冷、稀的高锰酸钾中性溶液，乙烯被氧化为邻二醇。

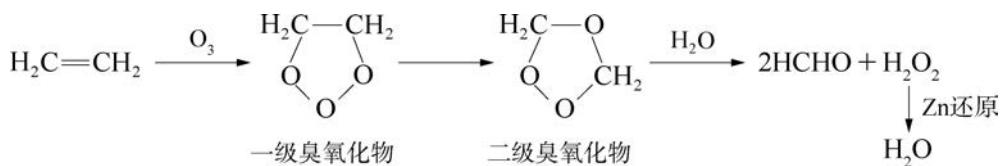


反应先形成环酯中间体，然后再水解得到邻二醇。

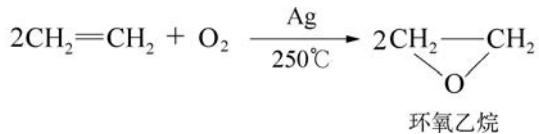
③ 用四氧化锇的乙醚溶液，乙烯也被氧化为邻二醇。



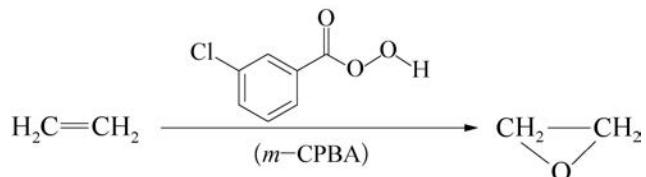
④ 乙烯可以与臭氧发生加成反应，生成不稳定而且易爆炸的一、二级臭氧化物（ozonide），其可被水分解产生甲醛与过氧化氢。为防止过氧化氢将甲醛氧化为甲酸，在反应后期可以加入锌粉作为还原剂消耗过氧化氢。



⑤ 工业上，可以将乙烯在银催化剂的催化下，用氧气氧化来制备环氧乙烷。



⑥ 实验室里，可以将乙烯用一些有机过氧酸氧化生成环氧乙烷，如过氧乙酸（CH<sub>3</sub>COOOH）、间氯过氧苯甲酸（m-CPBA）等。



#### 4. 聚合物的结构

由许多小分子化合物通过共价键相连而形成的大分子（也称高分子）称为聚合物（polymer），这种小分子化合物称为单体（monomer）。通常，聚合物由几百或更多单体组成，相对分子质量一般在10<sup>4</sup>~10<sup>6</sup>，或者更大。如果只是由几个或十几个单体形成的化合物不能称为聚合物，只能称为齐聚物（oligomer），也就是俗称的低聚物。聚合物中组成和结构相同的单元称为重复单元（repeating unit），又称为链节。重复单元的数目称为聚合度。

由一种单体通过均聚，或者由两种或多种单体通过共聚而形成聚合物，所得聚合物的链节与单体的原子组成相同，聚合物相对分子质量是单体相对分子质量的整数倍，这样的聚合反应称为加聚聚合反应。

由一种单体或者两种以上单体通过结合形成聚合物，同时有小分子生成（如水、卤化氢、氨等），所得聚合物的链节与单体的原子组成不相同，这样的聚合反应称为缩聚聚合反应。

由以下几种聚合物的形成为例来理解单体、链节、加聚反应、缩聚反应等概念（表 7-3）。

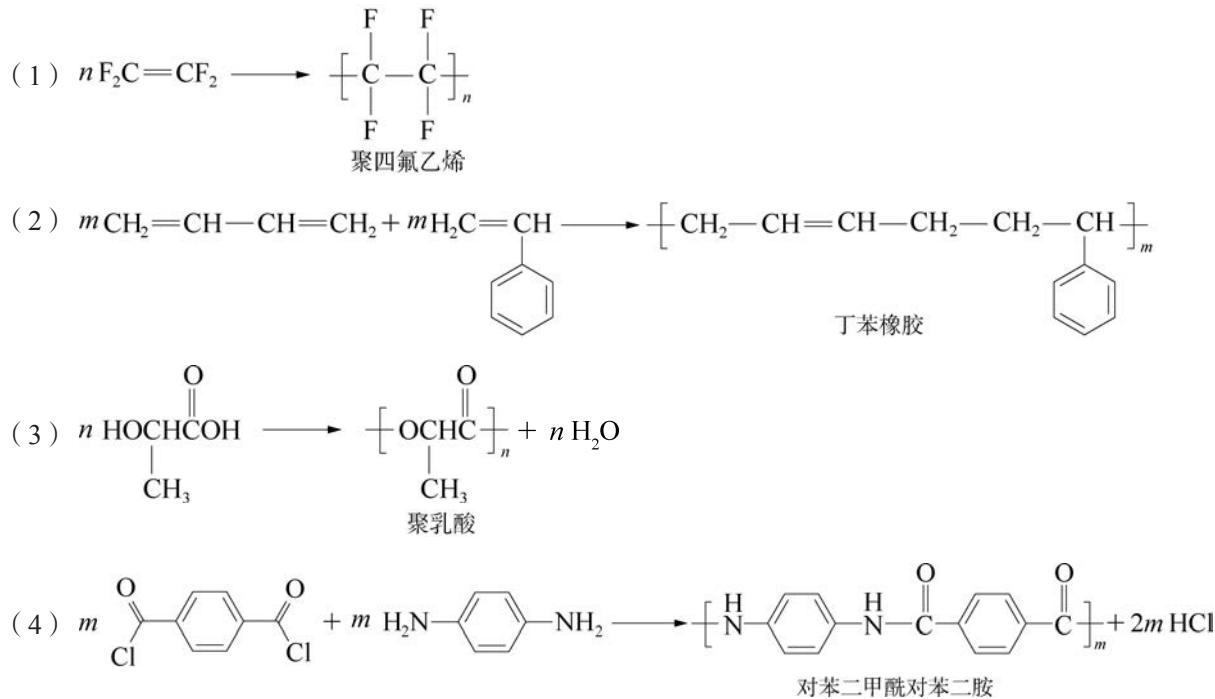
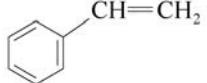
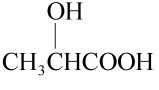
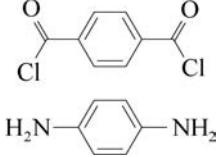
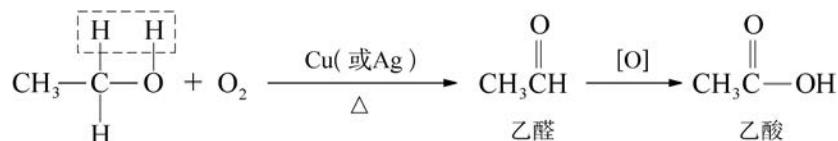


表 7-3 反应(1)~(4)的反应类型、单体、链节和聚合度

编号	反应类型	单 体	链 节	聚合度
反应(1)	加聚聚合	$\text{F}_2\text{C}=\text{CF}_2$	$\left[ \begin{array}{c} \text{F} & \text{F} \\   &   \\ \text{C} & -\text{C}- \\   &   \\ \text{F} & \text{F} \end{array} \right]$	$n$
反应(2)	加聚聚合	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$ 	$\left[ -\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{C}_6\text{H}_5 \right]$	$m$
反应(3)	缩聚聚合		$\left[ -\text{OCHC}(\text{CH}_3)-\text{C}(=\text{O})- \right]$	$n$
反应(4)	缩聚聚合		$\left[ -\text{N}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{NH}-\text{C}(=\text{O})-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(=\text{O})-\text{Cl} \right]$	$m$

## 5. 乙醇的氧化

乙醇羟基在铜或银的催化下，通过脱氢氧化生成乙醛。如果反应是在强氧化剂条件下，乙醛很难停留，会进一步被氧化为乙酸。

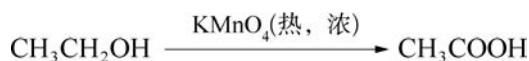


下面再介绍其他几种乙醇的氧化反应体系：

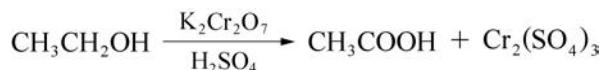
(1) 乙醇可以被稀硝酸氧化为乙酸。



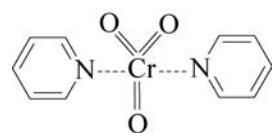
(2) 乙醇能被热、浓的高锰酸钾溶液氧化为乙酸，高锰酸钾溶液发生褪色。冷、稀的高锰酸钾中性溶液难以氧化乙醇。



(3) 乙醇也能被重铬酸钾溶液氧化为乙酸，重铬酸钾溶液的颜色发生变化，这是由于橙红色 Cr(VI) 被还原为绿色的 Cr(III) 价。这一反应也是交通警察采用呼气式酒精测试仪判断驾驶员是否饮酒的工作原理，测试仪里有一根涂有重铬酸钾 / 硫酸的硅胶填充柱，让驾驶者向柱子中吹气，如果橙红色的柱子转变为绿色说明驾驶者的呼吸中含有乙醇，这也就说明驾驶者饮过酒。

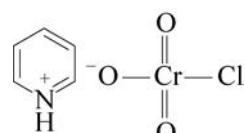


(4) 如果 Cr(VI) 是以铬酐 (CrO<sub>3</sub>) 的形式制成碱性的沙瑞特 (Sarett) 试剂 (CrO<sub>3</sub>-二吡啶络合物) 或者中性的 PCC 试剂 (氯铬酸吡啶𬭩, pyridinium chlorochromate)，氧化性会降低，乙醇被氧化为乙醛。如果分子结构中含有不饱和双键、三键的醇用这两个试剂进行氧化时，只有醇羟基被氧化，而不饱和双键、三键不会被氧化。



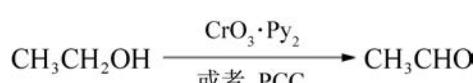
Sarett试剂

缩写为：CrO<sub>3</sub>·Py<sub>2</sub>



(PyH<sup>+</sup>CrO<sub>3</sub>Cl<sup>-</sup>)

缩写为：PCC



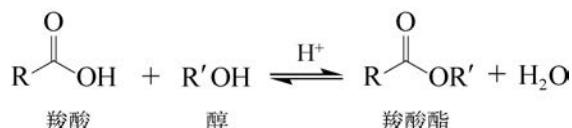
(5) 乙醇在生物体内经乙醇脱氢酶催化脱氢而生成乙醛，乙醛进一步在乙醛脱氢酶催化下脱氢而生成乙酸，最终被代谢为二氧化碳和水排出体内。



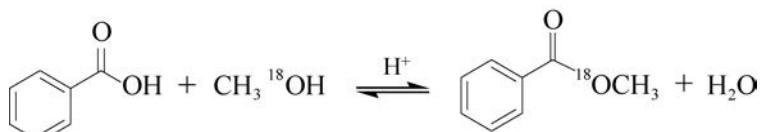
饮酒者如果出现脸潮红、心悸及血压下降等不适症状，一般就是体内过多的乙醛在肝脏内没有被及时氧化代谢所致。因此过度饮酒不仅会引起酒精中毒，还有损身体健康，要避免酗酒行为的发生。

## 6. 酯化反应机理

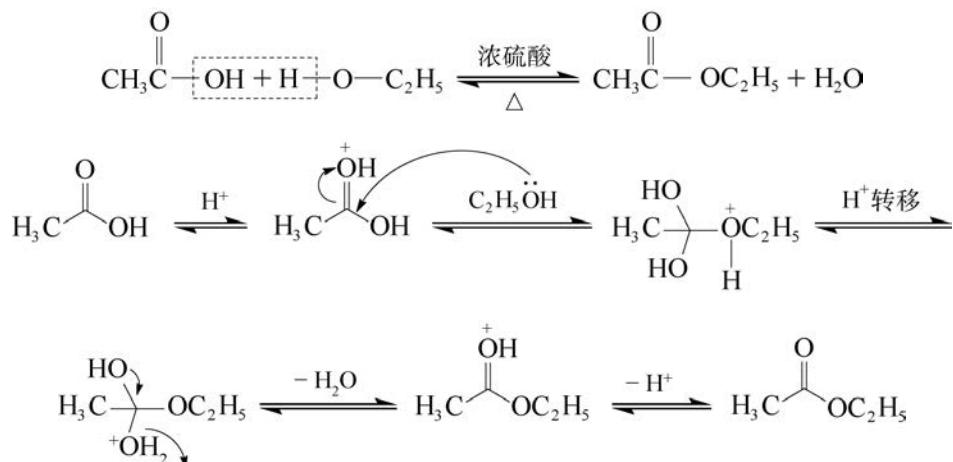
羧酸与醇在酸的催化下可以通过脱水生成酯，该反应称为酯化反应（esterification reaction），用下面的反应通式来表达。



反应中脱掉的水分子中的氧原子是来自羧酸，还是醇？实验表明，大多数情况下，是羧酸脱羟基，醇脱氢来生成的水。科学家们已经用同位素<sup>18</sup>O标记的甲醇与苯甲酸反应，检测发现水中不含<sup>18</sup>O，得到了含有<sup>18</sup>O的苯甲酸甲酯。



“酸脱羟基，醇脱氢”的断键方式到底是如何发生的？酯化反应为什么要用酸来催化？下面我们以乙酸乙酯的具体生成历程来进行阐述。



从反应历程可以看出：

- (1) 反应需要酸催化，主要是为了使羧酸的羰基氧上连接质子，这样会使 C=O 双键上的电子更多转移到氧上，增加了羰基碳的正电性，更容易接受弱的亲核试剂乙醇的进攻。
- (2) 同时酸提供的质子，可以促使羧酸的羟基接受转移质子后，成为好的离去基团 (H<sub>2</sub>O) 离去。
- (3) 脱水后得到质子化的酯，再脱质子得到酯，并重新生成酸性催化剂。
- (4) 酸催化的酯化反应是一个平衡可逆反应，在有大量水的情况下，酯也可以经酸催化水解为原

来的羧酸和醇。

为了提高酯化反应的产率，可以采取以下措施：

(1) 反应中通过加入较多的浓硫酸一方面是催化反应，另外是利用其吸水性质，吸收反应生成的水促使反应平衡正向移动。

(2) 反应还可以通过加入一种价廉易得并且反应结束后容易去除的过量反应物(羧酸或醇)来促使反应右移提高产率。

(3) 通过及时移出反应产物，打破反应平衡，促使反应右移提高产率。如果酯的沸点低，可以边反应边通过蒸出酯的方法使反应完全；目前最好的方法是采用一些能与水形成共沸的有机液体(如环己烷、甲苯等)作为酯化反应的溶剂，通过边反应边“共沸除水”的操作促进反应完全。

## 教学资源

### 1. 煤炭清洁利用技术

实现2030年碳达峰和2060年碳中和的目标已经成为我国重大的国家战略。在我国“富煤、贫油、少气”的化石资源的格局下，煤炭是我国长期生产与消费规模最大的能源品种，同时也是我国温室气体及大气污染的主要来源。为了实现2030年碳排放强度在2005年的基础上下降60%~65%，发展煤炭清洁高效利用技术是必然的选择<sup>[1]</sup>。目前煤炭清洁利用技术主要包括煤炭清洁发电技术、新型煤化工技术、煤基多联产技术、煤油共炼技术、碳捕获与封存技术。

(1) 煤炭清洁发电技术包括通过改进燃烧方式提高参数的发电技术(如超临界燃煤发电、循环流化床燃煤发电等)，以及将煤炭气化后用于发电的技术(如整体煤气化联合循环发电)。

(2) 新型煤化工技术主要是指以煤为原料合成清洁能源或者化工产品，包括煤制甲醇、烯烃、乙二醇、天然气以及油等产品<sup>[2]</sup>。

(3) 煤基多联产技术是指以煤为原料，集中煤气化、化工合成、发电、供热、废弃物资源化利用等单元构成的煤炭综合利用系统。

(4) 煤油共炼技术是指将煤粉(褐煤、长烟煤、不黏煤、弱黏煤及气煤)与重质油(煤基重质油或石油基重质油)按一定比例(质量分数25%~50%)混合并加入催化剂，在一定反应温度、压力条件下，使油煤浆加氢裂解成轻、中质油和少量烃类气体的工艺技术<sup>[3, 4]</sup>。国内的延长石油集团、神华集团、中国煤炭科工集团煤炭科学研究院目前开发出此类技术。

(5) 碳捕获与封存(Carbon Capture and Storage，简称CCS)是指将大型发电厂、钢铁厂、化工厂等排放源产生的二氧化碳收集起来，并采用一定的方法储存以避免排放到大气中的一种技术。2014年我国的CCS项目已经跃居世界前列。2010年建成的华能上海石洞口电厂二氧化碳捕集项目是全球最大的燃烧后二氧化碳捕集示范工程之一，年产纯度99.9%的二氧化碳达10万吨，占上海二氧化碳用量的 $\frac{2}{3}$ 。当前CCS又在向碳捕获、利用与封存(CCUS)的理念转化。

### 2. 特种高分子材料

高分子材料按使用特性可分为通用高分子材料、工程高分子材料和特种高分子材料。通用高分子材料和工程高分子材料大部分属于结构高分子材料，少数属于特种高分子材料。

结构高分子材料最基本的特性是具有高的比强度和比刚度，具有质轻、耐磨、防腐、隔热、绝缘、吸波、减震等特性。塑料、合成橡胶、合成纤维、涂料、胶粘剂与高分子合金是六大结构高分子材料。

特种高分子材料是指除了具有一般的力学性能外，还具有特定功能或突出性能的高分子材料。一般可以按其来源或功能应用特性来进行分类<sup>[5]</sup>。

(1) 按来源分类：

① 天然特种高分子材料：如蛋白质、酶、核酸、血红素等生物高分子。

② 半合成特种高分子材料：如固定化酶等。

③ 合成特种高分子材料：如高分子催化剂、光刻胶、人工脏器等。

(2) 按功能应用特性来分类：

① 力学功能材料：包括强度功能、弹性功能、降阻功能材料。

② 物理化学功能材料：包括耐热性、电磁功能、光学功能、声功能、传感功能材料。

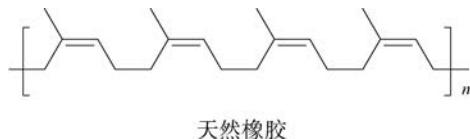
③ 化学功能材料：包括分离功能、反应功能、催化功能材料。

④ 生物化学功能材料：包括人工脏器、医用高分子、药用高分子、仿生高分子材料。

### 3. 合成橡胶

橡胶是制造汽车、飞机、军舰、医疗器械等所必需的一种原材料。根据来源不同，一般分为天然橡胶（natural rubber）和合成橡胶（synthetic rubber）<sup>[6]</sup>。天然橡胶是从橡胶树上采集胶乳制成，其优点是弹性好，耐酸碱，主要缺点是不耐油。合成橡胶一般在性能上不如天然橡胶全面，但它具有高弹性、绝缘性、气密性、耐油、耐温等性能，因而用途广泛。合成橡胶与塑料、合成纤维并称“三大合成材料”，是 20 世纪人类的伟大成就。

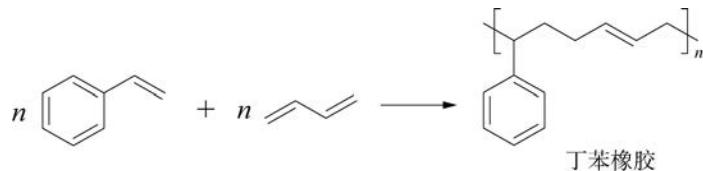
天然橡胶的结构可看做由异戊二烯单体分子聚合而成的高分子化合物：



其中所有双键的构型都保持顺式，平均相对分子质量为 60 000~350 000。

1909 年，德国化学家霍夫曼（F. Hofmann）成功合成出橡胶，获得世界第一项合成橡胶专利，为人类利用合成橡胶奠定了基础。从 20 世纪 40 年代以来合成橡胶得到迅速的发展，以下是几类重要的合成橡胶：

(1) 丁苯橡胶是产量最大的通用合成橡胶，由苯乙烯和 1,3-丁二烯共聚聚合而成，在耐腐、耐老化等方面都优于天然橡胶。主要用于制造轮胎、电线电缆、医疗器具、运输皮带、胶鞋及防腐衬里等。

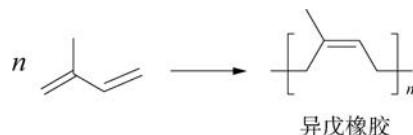


(2) 顺丁橡胶是 1,3-丁二烯在 Ziegler-Natta 催化剂作用下，通过定向聚合而成，其耐寒性、耐磨性和弹性特别优异，而且还有较好的耐老化性能。顺丁橡胶的缺点是抗撕裂性能较差，抗湿滑性能不

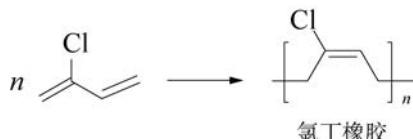
好。顺丁橡胶绝大部分用于生产轮胎，少部分用于制造耐寒制品、缓冲材料以及胶带、胶鞋等。



(3) 异戊橡胶是由异戊二烯聚合而成，其性能最接近天然橡胶，具有良好的弹性、耐磨性、耐热性和化学稳定性。异戊橡胶生胶强度低于天然橡胶，但质量均一性、加工性能等优于天然橡胶。可以代替天然橡胶制造载重轮胎和越野轮胎，还可以用于生产各种橡胶制品，因此异戊橡胶又称为“合成的天然橡胶”。



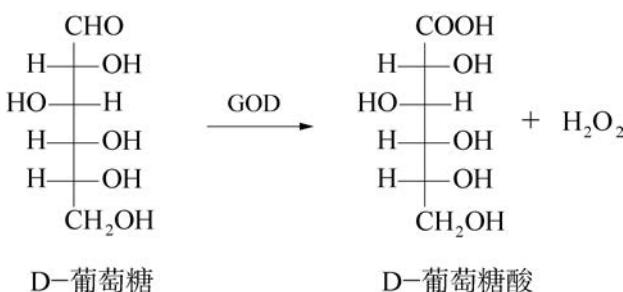
(4) 氯丁橡胶是以 2-氯-1,3-丁二烯为主要单体，通过均聚或少量其他单体共聚而成。氯丁橡胶具有较高的抗张强度，化学稳定性较高，具有优异的耐水性、耐燃性及抗延燃性，在耐热、耐光、耐老化、耐油性能方面均优于天然橡胶、丁苯橡胶、顺丁橡胶。其缺点是耐寒性和贮存稳定性较差。氯丁橡胶的用途广泛，如用于抗风化产品、粘胶鞋底、电线、电缆的包皮材料、垫圈、耐化学腐蚀的设备衬里、涂料和火箭燃料等。

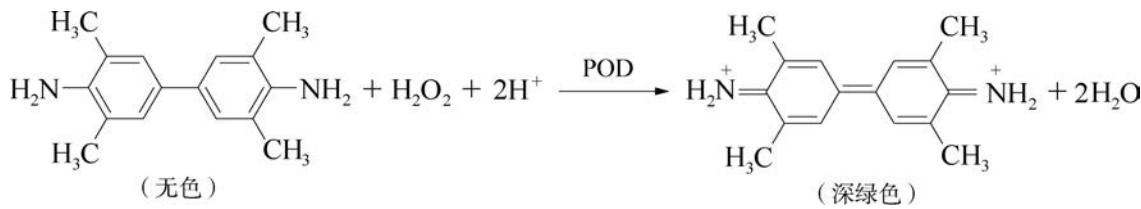


#### 4. 葡萄糖的检验

人体血液中的葡萄糖称血糖，正常人血糖浓度维持恒定，它与组织细胞中糖的分解及合成直接相关。任何时候血糖超过  $11.1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，空腹血糖超过  $7.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，餐后 2 小时血糖超过  $11.1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  即可以作为判断糖尿病的依据之一<sup>[7]</sup>。当血液中葡萄糖浓度超过肾糖阈 ( $8.9 \sim 10.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ )，葡萄糖就会从尿液中排出。尿液中葡萄糖含量可以采用尿糖试纸快速检测，其工作原理涉及了双连续的酶反应。试纸内含有葡萄糖氧化酶 (Glucose Oxidase, GOD) 和过氧化物酶 (Peroxidase, POD) 以及特殊的还原-氧化型显色物质。当试纸与尿糖接触，试纸上的 GOD 催化葡萄糖氧化为葡萄糖酸，并释放  $\text{H}_2\text{O}_2$ ；同时 POD 又催化  $\text{H}_2\text{O}_2$  氧化特殊的显色物质由还原型转变为氧化型，氧化型显色剂显色深浅和尿样中葡萄糖含量呈正比关系。因此可直接将试纸显色与标准色板进行比较，判断结果。

例如，一种含有 3,3',5,5'-四甲基联苯胺的尿糖试纸检验尿糖时发生了如下连续反应<sup>[8]</sup>：





尿糖试纸使用方便，检测快速，特别适合糖尿病患者用来监测个人的尿糖情况以及临床医学普查。

## 5. 食用油脂与人体健康

油脂的主要生理功能是贮存和供应热能。1 g 油脂完全氧化可放出 39.8 kJ 的热量，比 1 g 糖或蛋白质多一倍以上，是机体新陈代谢的重要来源。油脂是体内许多脂溶性生物活性物质（如维生素 A、D、E、K）等的良好溶剂。此外，脂肪还有保护内脏、维持适宜体温等作用<sup>[6]</sup>。

天然油脂中的脂肪酸种类很多（表 7-4），分为饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸两类。在不饱和脂肪酸分子中只含有一个双键的脂肪酸称为单烯脂肪酸，含有多个双键的脂肪酸称为多烯脂肪酸。常见的饱和脂肪酸有软脂酸、硬脂酸；常见的不饱和脂肪酸有油酸、亚油酸、花生四烯酸等。

表 7-4 脂类中重要的脂肪酸

习惯名称	系统名称	结构式
月桂酸 ( Lauric acid )	十二碳酸	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$
棕榈酸（软脂酸） ( palmitic acid )	十六碳酸	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$
硬脂酸 ( stearic acid )	十八碳酸	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$
油酸 ( oleic acid )	9-十八碳烯酸	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
亚油酸 ( linoleic acid )	9,12-十八碳二烯酸	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_2(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$
$\alpha$ -亚麻酸 ( $\alpha$ -linolenic acid )	9,12,15-十八碳三烯酸	$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$
$\gamma$ -亚麻酸 ( $\gamma$ -linolenic acid )	6,9,12-十八碳三烯酸	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_3(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$
花生四烯酸 ( arachidonic acid )	5,8,11,14-二十碳四烯酸	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_4(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$
EPA ( 5,8,11,14,17-eicosapentaenoic acid )	5,8,11,14,17-二十碳五烯酸	$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_5(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$
DHA ( 4,7,10,13,16,19-docosahexaenoic acid )	4,7,10,13,16,19-二十二碳六烯酸	$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_6\text{CH}_2\text{COOH}$

动物脂肪酸中含有饱和脂肪酸较多，常见的有软脂酸、硬脂酸，其中硬脂酸可占到 10%~30%。植物油中含不饱和脂肪酸较多，如橄榄油中油酸含量高达 83%。葵子油中的主要成分是亚油酸，亚麻

籽油的主要成分是亚麻酸。在海生动物及鱼油中也含有大量不饱和多烯酸如 EPA 和 DHA 等。

油脂是人体的必要营养物质之一，哺乳动物体内只能合成饱和脂肪酸和单烯脂肪酸，而多烯脂肪酸在体内则不能合成（如亚油酸和亚麻酸等）或合成不足（如花生四烯酸），必须由食物供给，称为营养必需脂肪酸（essential fatty acid）。因此，平时膳食中合理搭配动植物油脂才有利于身体健康。

## 参考文献

- [1] 韩雅文, 刘固望, 蒋立, 等. 煤炭清洁利用技术进展与评价综述 [J]. 中国矿业, 2017, 26 (7): 81–87.
- [2] 杨光杰, 李飞, 王旭峰, 等. 合成气制低碳烯烃研究进展 [J]. 现代化工, 2020, 40 (4): 61–64.
- [3] 中国煤炭工业协会 .GB/T 35064—2018 煤油共炼原料技术条件 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [4] 黄格省, 李顶杰, 乔明, 等. 煤油共炼技术发展现状及产业化前景分析 [J]. 石化技术与应用, 2020, 38 (1): 1–8.
- [5] 刘引烽 . 特种高分子材料 [M]. 上海: 上海大学出版社, 2001.
- [6] 王全瑞 . 有机化学: 第 2 版 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2018.
- [7] 朱圣庚, 徐长法 . 生物化学: 第 4 版 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2016.
- [8] CHEN F F, ZHU Y J, XIONG Z C, et al. Hydroxyapatite nanowires@metal-organic framework core/shell nanofibers: templated synthesis, peroxidase-like activity, and derived flexible recyclable test paper [J]. Chemistry—A European Journal, 2017, 23(14): 3328–3337.

# 本章习题分析与答案

## 7.1 饱和烃

题号	知识点	答案(以及必要的解题思路提示)																																									
1	烃的概念	C																																									
2	取代反应	B																																									
3	同分异构体的概念	D																																									
4	烷烃的通式与命名	$C_{10}H_{22}$ ;癸烷																																									
5	烷烃的氧化反应	$C_nH_{2n+2} + \frac{3n+1}{2}O_2 \xrightarrow{\text{点燃}} nCO_2 + (n+1)H_2O$																																									
6	有机化合物化学式的确定	$C_4H_{10}$ ; $M(\text{气体}) = \rho \times V_m = 2.59 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \times 22.4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} = 58 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 含碳原子: $58 \times 82.76\% \div 12 = 4$ , 含氢原子: $58 - 12 \times 4 = 10$																																									
7	有机化合物中碳原子间的连接方式																																										
8	有机化合物的性质	<table border="1"><thead><tr><th rowspan="2">内容</th><th colspan="3">物质</th></tr><tr><th>有机化合物</th><th>实例: <math>C_2H_6</math></th><th>无机化合物</th><th>实例: NaCl</th></tr></thead><tbody><tr><td>元素组成</td><td>C、H、O等</td><td>C、H</td><td></td><td>Na、Cl</td></tr><tr><td>化合物中原子间的化学键</td><td>共价键</td><td>共价键</td><td>共价键、离子键</td><td>离子键</td></tr><tr><td>熔点</td><td>较低</td><td>较低</td><td>差异较大</td><td>较高</td></tr><tr><td>沸点</td><td>较低</td><td>较低</td><td>差异较大</td><td>较高</td></tr><tr><td>在水中的溶解性</td><td>大多数难溶</td><td>难溶</td><td>差异较大</td><td>易溶</td></tr><tr><td>可燃性</td><td>大多数可燃</td><td>可燃</td><td>大多数不可燃</td><td>不可燃</td></tr></tbody></table>				内容	物质			有机化合物	实例: $C_2H_6$	无机化合物	实例: NaCl	元素组成	C、H、O等	C、H		Na、Cl	化合物中原子间的化学键	共价键	共价键	共价键、离子键	离子键	熔点	较低	较低	差异较大	较高	沸点	较低	较低	差异较大	较高	在水中的溶解性	大多数难溶	难溶	差异较大	易溶	可燃性	大多数可燃	可燃	大多数不可燃	不可燃
内容	物质																																										
	有机化合物	实例: $C_2H_6$	无机化合物	实例: NaCl																																							
元素组成	C、H、O等	C、H		Na、Cl																																							
化合物中原子间的化学键	共价键	共价键	共价键、离子键	离子键																																							
熔点	较低	较低	差异较大	较高																																							
沸点	较低	较低	差异较大	较高																																							
在水中的溶解性	大多数难溶	难溶	差异较大	易溶																																							
可燃性	大多数可燃	可燃	大多数不可燃	不可燃																																							

## 7.2 不饱和烃

题号	知识点	答案(以及必要的解题思路提示)	
1	石油化工	C	
2	乙烯、乙烷的结构和性质	C	
3	乙烯的氧化反应	B	
4	烃的燃烧	A。烃分子中,含氢量越大,完全燃烧时消耗氧气越多	

(续表)

题号	知识点	答案(以及必要的解题思路提示)		
5	乙烷、甲烷的空间结构	A、D		
6	乙烯的化学性质	编号	化学方程式	反应类型
		①	$\text{CH}_2=\text{CH}_2 + 3\text{O}_2 \xrightarrow{\text{点燃}} 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	氧化反应
		②	$\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{Br}_2 \longrightarrow \text{CH}_2\text{BrCH}_2\text{Br}$	加成反应
		③	$\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{H}_2 \xrightarrow[\Delta]{\text{催化剂}} \text{CH}_3\text{CH}_3$	加成反应
		④	$\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{HCl} \xrightarrow[\Delta]{\text{催化剂}} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}$	加成反应
		⑤	$\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow[\Delta]{\text{催化剂}} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	加成反应
		⑥	$n\text{CH}_2=\text{CH}_2 \xrightarrow{\text{一定条件}} [\text{CH}_2-\text{CH}_2]_n$	聚合反应
7	甲烷、乙烯的结构与性质	名称(分子式)	甲烷( $\text{CH}_4$ )	乙烯( $\text{C}_2\text{H}_4$ )
		结构式和结构简式	结构式 $\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$ 结构简式 $\text{CH}_4$	结构式 $\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\ & \diagdown \\ & \text{C}=\text{C} \\ & \diagup \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$ 结构简式 $\text{CH}_2=\text{CH}_2$
		分子的空间结构	正四面体形	平面形
		在氧气中燃烧的反应	淡蓝色火焰	明亮的火焰，产生黑烟
		能否使 $\text{KMnO}_4$ 的酸性溶液褪色	不能	能
		能否发生取代反应	能	不能
		能否发生加成反应	不能	能

### 7.3 乙醇和乙酸

题号	知识点	答案(以及必要的解题思路提示)
1	官能团羟基的结构特点	A
2	醇的化学性质	D
3	乙酸的化学性质	A
4	乙酸的结构与性质	(1) (2) (1) (2) $\text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+$ , 乙酸在溶液中可部分电离出醋酸根离子与氢离子, 使溶液呈酸性 (3) $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{CH}_3\text{OH} \xrightarrow[\Delta]{\text{浓硫酸}} \text{CH}_3\text{COOCH}_3 + \text{H}_2\text{O}$

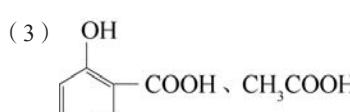
## 7.4 糖、油脂和蛋白质

题号	知识点	答案(以及必要的解题思路提示)
1	油脂的结构与性质	B
2	有机化合物的燃烧	B
3	葡萄糖的检验	D
4	蛋白质的性质	C
5	物质的量的计算	<p>设葡萄糖注射液的密度为 <math>a \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}</math></p> $m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 500 \text{ mL} \times a \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1} \times 5\% = 25a \text{ g}$ $n(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)}{M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)} = \frac{25a \text{ g}}{180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.14a \text{ mol}$ <p>葡萄糖完全氧化后能为人体带来的能量为: <math>0.14a \text{ mol} \times 2804 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = 392.56a \text{ kJ}</math></p>

## 本章复习

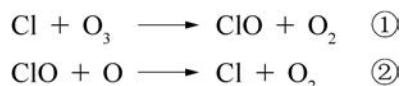
题号	知识点	答案(以及必要的解题思路提示)
1	同系物的判断	A。 $\text{C}_6\text{H}_6$ 可能是苯, 与乙炔结构不同
2	乙酸的化学性质	C
3	羟基、羧基和碳碳双键的性质	D
4	氨基酸的结构	C
5	有机化合物的推断	<p>A: <math>\text{CH}_2=\text{CH}_2</math>; B: <math>\text{CH}_3\text{CHO}</math>; C: <math>\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}</math>;</p> <p>D: <math>\text{CH}_3\text{COOH}</math>; E: <math>\text{CH}_4</math>; F: <math>\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3</math>。由题干信息: E 是有机化合物中含氢量最大的烃, 可推知 E 为甲烷; 由题干信息: F 是一种有香味的液体, 结合反应条件可推知 F 为酯类物质</p>
*6	乙烯的结构、性质和用途	<p>(1) 键能是指在标准状况下, 将 1 mol 气态分子 <math>\text{AB(g)}</math> 解离为气态原子 <math>\text{A(g)}</math>, <math>\text{B(g)}</math> 所需的能量。键能越大, 键越牢固, 分子具有的能量就越低, 分子就越稳定。乙烯中的碳碳双键的键能比乙烷中的碳碳单键的键能大, 但小于乙烷中的碳碳单键键能的两倍, 故在反应中容易断裂其中的一个键而发生加成反应</p> <p>(2) <math>\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{HCl} \xrightarrow[\Delta]{\text{催化剂}} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}</math>, 乙烯和氯化氢的加成反应进行较为完全, 产物较纯净</p> <p>(3) 水果成熟过程中会释放出具有催熟功能的乙烯, 放入一些用 0.2% 的高锰酸钾溶液浸泡过的纸可以吸收产生的乙烯, 延长水果的保质期</p>
7	石油化工	<p>(1) 将石油加热至沸腾, 通过分馏塔。在分馏塔中, 位置越高, 温度越低, 石油蒸气在上升途中会逐步液化, 冷却并凝结成不同沸点范围的蒸馏产物, 这个过程称为石油的分馏</p> <p>(2) 柴油和汽油是生活生产中大量需求的轻质燃料油, 因此其需求明显大于供给。重油在生活生产中的使用范围较小, 供给远超过需求。为了满足轻质油的使用需求, 石油化工上在一定条件下(加热或使用催化剂并加热), 把重油等相对分子质量大、沸点较高的烃裂化为相对分子质量较小、沸点较低的烃</p> <p>(3) 柴油更高。柴油的碳原子数更多, 同分异构体更多, 沸点范围更高</p>

(续表)

题号	知识点	答案(以及必要的解题思路提示)
8	羧基、酯基的性质	(1) $C_9H_8O_4$ (2)  (3) 
9	乙醇的综合利用	(1) 消毒剂、燃料、制取酯类等 (2) 发酵法的转化率不高, 原子利用率较低 (3) 该反应所使用的原料为可再生资源, 原料和产品都是无害的
*10	醇的结构与性质	(1) 互为同系物, 具有相同的化学通式 (2) 醇分子中碳原子数目越多, 沸点越高 (3) 醇分子中的支链与其沸点存在一定的联系: 醇分子中支链越多其沸点越低, 可以比较 1-戊醇的几种同分异构沸点来证实

\*11. 译文如下:

几十年来, 由于人们对卤代脂肪族碳氢化合物的使用越来越多(主要是用于制作气溶胶推进剂和制冷剂), 它们被排放到自然环境中的量也稳步增加。在整个对流层中检测到两种氯氟甲烷, 即  $CF_2Cl_2$  和  $CFCl_3$ , 其数量(按体积计算分别为每 1 011 份中 10 份和 6 份)大致相当于迄今为止的世界综合工业生产量。大气中  $CFCl_3$  和  $CF_2Cl_2$  最主要的汇集处是在 20~40 km 高度的平流层, 它们在这里被分别光解为  $CFCl_2+Cl$  和  $CF_2Cl+Cl$ 。每一个反应都会产生两个奇数电子物质——一个氯原子和一个自由基。离解的氯氟甲烷可以追溯到它们的最终汇集处, 在平流层发生一个广泛的催化连锁反应, 导致其中的  $O_3$  和 O 被消耗:



这个连锁反应带来了影响很大的化学后果。大多数情况下, 在地球大气臭氧层中, 反应②相对较慢, 因为 O 的浓度比  $O_3$  的浓度低很多。

- (1) 你认为在你所学的有机反应中, 有多少种方法可以获得  $CF_2Cl_2$  和  $CH_3CHF_2$  等物质?
- (2) 消耗臭氧层物质(通常简称为 ODS)主要包括哪些, 造成臭氧消耗的主要原因是什么?
- (3) 你知道目前人们采取了哪些措施来减少臭氧层的消耗?

# 《化学练习部分》参考答案

## 第5章 金属及其化合物

### 5.1 金属的性质

#### 金属的物理性质

1. (1) B (2) C (3) D (4) A
2. A 3. D 4. B

5. 要点：物理方法如测密度——密度明显低于黄金的是假货，看硬度——在纯金上用指甲可划出痕迹；化学方法如在空气中灼烧后变色的是假货，放入盐酸中有气泡产生的是假货。

#### 金属元素的原子结构

1. D 2. C 3. A 4. D 5. B

6. 第5周期第14族(或ⅣA族) 合理 因为锡元素原子电子层数比硅多，所以其原子半径更大，原子核对最外层电子的吸引力更小，也更容易失去电子

#### 金属的化学性质

1. A 2. D 3. B 4. C 5. C 6. C 7. B 8. A 9. C 10. C
11. ① 钠的密度比水小 ② 钠的熔点较低 ③ 反应剧烈，产生的气体推动小球做无规则运动  
④ 钠与水反应，生成可溶性物质 ⑤ 钠与水反应有碱性物质生成

#### 金属的冶炼

1. A 2. D 3. C 4. C 5. C 6. C 7. D 8. C 9. C

### 生活与社会

(1) D 要点：选项A为车架、挡泥板、车座弹簧烤上一层漆，可以隔绝水和空气，能防止生锈；选项B为链条涂上机油，为轴承涂上凡士林，可以隔绝水和空气，能防止生锈；选项C对车把、车圈、车辐条进行电镀处理，可以隔绝水和空气，能防止生锈；选项D把自行车存放在高温、潮湿的地方，铁与水、空气接触易生锈。

(2) B 要点：选项A中食醋的主要成分是 $\text{CH}_3\text{COOH}$ ，它显酸性，能与铝及铝表面覆盖的氧化铝保护膜发生反应，使铝制品被腐蚀；选项C用金属丝擦洗时会破坏铝表面覆盖的氧化铝保护膜，使铝制品容易被损坏；选项D用碱水洗涤也会腐蚀铝及铝表面的保护膜。

(3) A 要点：选项B、D中黄铜、生铁密度较大，且生铁易断裂；选项C中Na-K合金熔点低，极易与水等物质发生反应，且常温下为液态。

(4) A 要点：由于钛和钛的合金密度小、可塑性好，因此可用于航天领域，选项B正确；由于钛合金与人体器官具有很好的“生物相容性”，可与人体的组织相容，不引起排斥反应，因此可以用来制造人造

骨,选项 C 正确;由于其密度小、可塑性好、易于加工,因此可用于制造高质量的眼镜架,选项 D 正确;由于其熔点高,不适合做保险丝,选项 A 错误。

(5) A 要点:从表格中可知,该合金具有密度小、机械性能好的特点,所以适合用作飞机外壳、门窗框。由于其熔点较高,所以适合用作炉具。但是其导电性不好,所以不适宜用作导线。

(6) 要点:铝表面生成致密的氧化膜,阻止内部金属进一步被氧化。



### 证据与推理

(1) 过滤 (2)  $H_2$ (或氢气) 要点: Al 与 NaOH 溶液反应产生氢气。(3) HCl 还原剂 要点:  $H_2$  与  $Cl_2$  反应生成 HCl。(4)  $Al(OH)_4^-$   $Fe^{2+}$



### 课题与研究

(1) 粉碎,使用铁粉 (2) 作为氧化剂 (3)  $Fe + Cu^{2+} \rightleftharpoons Fe^{2+} + Cu$  (4) 除去过量铁粉

## 5.2 重要的金属化合物

### 氧化物

1. C 2. B 3. D 4. B

5. (1) ①  $2Na_2O + O_2 \xrightarrow{\Delta} 2Na_2O_2$  ②  $Na_2O + H_2O \rightleftharpoons 2NaOH$  ③  $Na_2O + CO_2 \rightleftharpoons Na_2CO_3$   
④  $Na_2O + H_2SO_4 \rightleftharpoons Na_2SO_4 + H_2O$  (2) ①  $FeO + 2HCl \rightleftharpoons FeCl_2 + H_2O$   
②  $Fe_2O_3 + 6HCl \rightleftharpoons 2FeCl_3 + 3H_2O$

6.

化学式	FeO	$Fe_2O_3$	$Fe_3O_4$
颜色	黑色	红棕色	黑色
铁元素的化合价	+2	+3	+2 +3
与稀硫酸反应的离子方程式	$FeO + 2H^+ \rightleftharpoons Fe^{2+} + H_2O$	$Fe_2O_3 + 6H^+ \rightleftharpoons 2Fe^{3+} + 3H_2O$	—

7. (1) 防止空气中的水蒸气和  $CO_2$  进入装置 B 中,影响测定结果 (2) 24% (3) 尾气处理

### 过氧化物

1. C 2. B 3. B 4. D 5. A 6. C 7. C

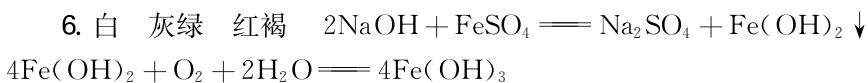
8. (1) 错误。 $Na_2O_2$  分别与水及  $CO_2$  反应产生等量氧气时,需水和  $CO_2$  的物质的量相等,但质量不相等 (2) 正确 (3) 错误。 $Na_2O_2$  的漂白原理与  $SO_2$  的漂白原理不相同,前者是氧化,后者是化合 (4) 错误。 $Na_2O_2$  与  $SO_2$  反应生成  $Na_2SO_4$  (5) 正确

9. (1)  $CaCO_3 + 2HCl \rightleftharpoons CaCl_2 + H_2O + CO_2 \uparrow$  (2) 除去  $CO_2$  中的 HCl 气体  
(3)  $2Na_2O_2 + 2CO_2 \rightleftharpoons 2Na_2CO_3 + O_2$  (4) NaOH 溶液 除去多余的  $CO_2$  (5) 把 F 中的导管移出水面,关闭分液漏斗活塞;用拇指堵住试管口,取出试管,立即把带火星的木条伸入试管口内,木条复燃,证明试管中收集的气体是氧气

### 氢氧化物

1. B 2. C 3. A 4. B

5. ③②①④



盐

1. B 2. A 3. B 4. B 5. A 6. B 7. C 8. D 9. C 10. A
11. (1)  $2\text{Fe}^{3+} + \text{Fe} = 3\text{Fe}^{2+}$  (2)  $2\text{FeCl}_3 + \text{Cu} = 2\text{FeCl}_2 + \text{CuCl}_2$
12. (1) 防止  $\text{Fe}^{2+}$  被氧化 (2)  $2\text{Fe}^{2+} + \text{Cl}_2 = 2\text{Fe}^{3+} + 2\text{Cl}^-$  (3) 隔绝空气, 排除氧气对实验的影响 (4)  $\text{Fe}^{3+}$  不能



### 证据与推理

- (1)  $\text{Fe} + \text{Br}_2 \rightarrow \text{H}_2$  (2) 4 17 (3)  $2\text{Fe}^{3+} + \text{Fe} = 3\text{Fe}^{2+}$   
(4)  $2\text{Fe}^{2+} + 4\text{Br}^- + 3\text{Cl}_2 = 2\text{Fe}^{3+} + 6\text{Cl}^- + 2\text{Br}_2$



### 实践与制作

- (1)  $\text{NaHCO}_3$  (2)  $\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} = \text{CaCO}_3 \downarrow$  滴加  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液的 pH 变化曲线与滴加蒸馏水的基本重合, pH 基本不变 (3)  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{OH}^-$ 、 $\text{Ca}^{2+}$



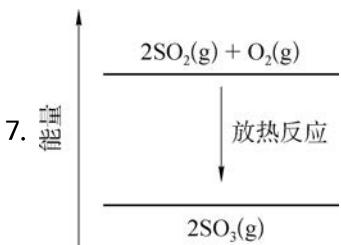
### 课题与研究

- (1) 使沉淀与氧气充分接触 (2)  $\text{Fe}^{2+} + 2\text{OH}^- = \text{Fe(OH)}_2 \downarrow$  (3)  $\text{Fe(OH)}_3$  (4) 沉淀颜色改变过程中, 瓶内空气中氧气含量与溶液中氧气含量均降低

## 5.3 化学变化中的能量变化

吸热反应和放热反应

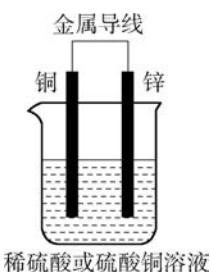
1. 化学 热 光 化学 电
2. A 3. A 4. D 5. D 6. A



8. 放出大量的热, 方便快捷 焊接(或切割)铁轨 火星四溅、发出耀眼的强光; 混合物剧烈反应, 有红色的熔融物落下; 冷却后变成黑色固体  $2\text{Al} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \xrightarrow{\text{高温}} \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{Fe}$

化学能与电能的转化

1. (1) 铜片 锌片 稀硫酸(或硫酸铜溶液) (2)  $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2 \uparrow$  (或  $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Cu}$ )



- (4) 锌片不断溶解, 铜片上产生大量气泡(或铜片有红色固体)

析出,溶液蓝色变浅) (5) 金属活动性: Zn>Cu

2. A 3. C 4. B 5. C 6. D



### 证据与推理

- (1) 提供电能,使工作马达正常工作 电解装置 X 中的水,生成氢气和氧气(或其他合理答案)  
(2)  $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$  (3) 要点:从太阳能、机械能、化学能、电能、热能之间的转化考虑(或其他合理答案)。



### 生活与社会

据图 5.15 判断,要使电动玩具长期工作,应选用碱性电池,高负荷电池最不合适选用,容易突然失效,又无法充电



### 实践与制作

要点:(1) 反应放热的快慢和热量要适中,符合人体取暖需要;(2) 使用过程安全、环保;(3) 使用与携带方便;(4) 便于保存;(5) 成本可控。



### 课题与研究

要点:(1) 电池种类、优点与不足;(2) 电池工作的基本原理;(3) 电池应用领域与前景展望;(4) 信息来源可靠。

## 本 章 测 试

### 一、选择题

1. B 2. C 3. C 4. D 5. A 6. B 7. D 8. A 9. D 10. B 11. C 12. A 13. B

### 二、综合题

14.

混合物	试剂或操作方法	实验现象或解释	化学方程式
NaOH 溶液( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )	适量石灰水,过滤	生成白色沉淀	$\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2 = \text{CaCO}_3 \downarrow + 2\text{NaOH}$
$\text{Na}_2\text{SO}_4$ 溶液( $\text{NaHCO}_3$ )	适量稀硫酸	有气泡冒出	$2\text{NaHCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2 \uparrow$
$\text{NaHCO}_3$ 溶液( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )	通入过量 $\text{CO}_2$ 气体	无明显现象	$\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{NaHCO}_3$
$\text{Na}_2\text{CO}_3$ 固体( $\text{NaHCO}_3$ )	加热至无气体产生	$\text{NaHCO}_3$ 受热易分解	$2\text{NaHCO}_3 \xrightarrow{\triangle} \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$

15. (1)  $\text{Br}_2$   $\text{Fe}^{3+}$  (2)

编号	选用试剂	实验现象
第一种方法	③	分层,下层无色
第二种方法	④	溶液变红

(3)  $\text{Fe}^{2+}$  不可行  $\text{Br}_2$  和  $\text{Fe}^{3+}$  都能把  $\text{I}^-$  氧化成  $\text{I}_2$ , 溶液均会变蓝

## 第6章 化学反应速率和化学平衡

### 6.1 化学反应速率

#### 化学反应速率

1. C 2. C

3. (1)  $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  (2) 0.2 1.2 (3)  $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  (4)  $1.28 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   
4. (1) A (2) 3 (3)  $2\text{A} \rightleftharpoons \text{B} + 3\text{C}$  (4)  $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  (5) 2 : 1 : 3

#### 影响化学反应速率的因素

1. C 2. D 3. B 4. D

5. (1) 60 mL (2) 1 min (3)  $D > C > B > A$  随着反应进行,  $c(\text{H}_2\text{O}_2)$  减小, 反应物浓度减小, 反应速率减慢 (4) 22.5

6. 要点: (1) 从光照与温度视角进行分析。 (2) 从温度视角进行分析。

7. (1)  $\text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{H}^+ \rightleftharpoons 2\text{Al}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O}$  (2) 反应开始, 温度较低且只有部分铝片与硫酸作用  
(3) 反应放热, 溶液温度升高, 反应速率加快 (4) 溶液中  $c(\text{H}^+)$  降低 (5) B、D



#### 证据与推理

- (1) 沉淀 (2) 8 (3) 探究其他条件相同时,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  溶液浓度变化对  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  与  $\text{H}_2\text{SO}_4$  反应速率的影响 (4) 达到相同浑浊度时, 实验①、②、③所需时间的改变量大于实验④、⑤所需时间的改变量



#### 生活与社会

要点: 面粉的主要成分是淀粉, 含碳、氢、氧元素, 易燃烧。当面粉悬浮在空气中, 细小的面粉颗粒与空气中氧气的接触面积大大增加。一旦遇到明火, 反应速率明显加快, 发生剧烈的反应, 反应能量集中释放, 导致爆炸。



#### 实践与制作

- (1)  $2\text{H}_2\text{O}_2 \xrightarrow{\text{MnO}_2} 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \uparrow$   
(2) 探究浓度变化对  $\text{H}_2\text{O}_2$  溶液分解速率的影响  
(3) 曲线表示的是有无催化剂, 及不同催化剂条件下  $\text{H}_2\text{O}_2$  分解产生氧气的压强随时间的变化关系。曲线斜率可表征反应速率。

三组实验中,  $\text{H}_2\text{O}_2$  的量相同, 理论上若时间足够长, 最终产生的气体应该相同。但是实际上, 由于  $\text{H}_2\text{O}_2$  一般条件下很稳定, 不易分解, 所以在没有催化剂条件下, 几乎无气体产生。但是使用了催化剂, 就能较快地产生气体。且使用  $\text{MnO}_2$  作为催化剂的曲线斜率较大, 说明相同时间内, 比使用  $\text{FeCl}_3$  溶液作为催化剂的  $\text{H}_2\text{O}_2$  分解产生氧气的速率要大, 压强更大

(4)

实验编号	实验药品	反应条件
⑥	10 mL 5% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 溶液	热水浴
⑦	10 mL 5% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 溶液	冰水浴

(使用 2% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 溶液也可, 关键做好变量控制)

### 课题与研究

(1) 脱氮过程开始, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 的浓度逐渐减小、NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 的浓度逐渐增大; H<sup>+</sup> 浓度明显减小, Fe<sup>2+</sup> 浓度明显增大; 但是一段时间后, 浓度变化都趋缓, 变化不再明显

(2) 要点: 温度、铁粉颗粒大小等。

(3) 要点: 实验步骤为① 分别取等体积、等浓度的 KNO<sub>3</sub> 溶液置于不同的试管中; ② 调节溶液呈酸性, 且 pH 各不相同, 并通入 N<sub>2</sub>; ③ 分别向上述溶液中加入足量等质量的同种铁粉; ④ 用离子色谱仪测定相同反应时间溶液中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 的浓度。实验结论为: 若 pH 不同的 KNO<sub>3</sub> 溶液中, 测出的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 的浓度不同, 表明 pH 对脱氮速率有影响, 否则无影响。

## 6.2 化学平衡

### 可逆反应

1. D 2. D 3. B 4. B 5. A

### 化学平衡

1. D 2. D 3. B 4. B

5. (1) 0.002 mol · L<sup>-1</sup> · s<sup>-1</sup> (2) < = (3) 1 : 1 : 2 (4) C

### 化学平衡的移动

1. B 2. A 3. B 4. A 5. C 6. B

7. (1) c 中溶液变棕色 (2) 加热棕色溶液



### 证据与推理

(1) 黄 (2) 排除实验Ⅱ和实验Ⅲ中 Fe<sup>3+</sup> 对溶液透光率的干扰 (3) 溶液透光率不再随时间改变后, 实验Ⅲ的溶液透光率低于实验Ⅱ的溶液透光率, 说明实验Ⅱ中, 虽然 KI 过量, 但仍有未反应的 Fe<sup>3+</sup> (4) 2Fe<sup>3+</sup> + 2I<sup>-</sup> ⇌ 2Fe<sup>2+</sup> + I<sub>2</sub>



### 生活与社会



(2) 要点: 化学反应是有一定速率和限度的, 通过改变外界条件可以调控化学反应的快慢——速率以及化学反应的限度——平衡。由于高炉炼铁的主反应是可逆反应, 可逆反应具有在一定条件下, 既可以向正反应方向进行, 同时又可以向逆反应方向进行的特点, 所以 CO 必然存在。增高高炉, 可以增加铁矿石与 CO 的接触面积, 但只能加快化学反应速率, 而不能影响反应的限度。

(3) 可以采取从反应体系中及时分离出 CO<sub>2</sub> 的措施, 来继续降低 CO 的浓度; 分离出 CO<sub>2</sub>, 生成物浓度降低, 平衡向正反应方向进行, CO 的浓度降低

## 6.3 化工生产

### 工业制硫酸的反应原理和生产过程

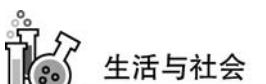
(1)  $4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 \xrightarrow{\text{高温}} 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2$      $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \xrightarrow[\triangle]{\text{催化剂}} 2\text{SO}_3$      $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_4$      $2\text{O}_2$   
(2) ① 一般需要过量的物质是  $\text{O}_2$ , 一方面  $\text{O}_2$  价廉量广, 另一方面可提高  $\text{SO}_2$  的转化率 ② 该反应使用催化剂是五氧化二钒, 可加快反应速率 ③ 反应温度一般维持在  $475^\circ\text{C}$  左右, 既保证了反应速率较快, 又能使催化剂具有最大活性 ④ 氨酸法是用氨水吸收尾气中的  $\text{SO}_2$ , 发生反应:  $\text{SO}_2 + 2\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} = (\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ ;  $\text{SO}_2 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{NH}_4\text{HSO}_3$ , 产物  $\text{NH}_4\text{HSO}_3$  再用硫酸处理, 使之放出的  $\text{SO}_2$  又可返回硫酸系统, 实现循环使用, 发生反应:  $2\text{NH}_4\text{HSO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 2\text{SO}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ , 副产物  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  可作为化肥供农业生产使用 ⑤ 从转化器里出来的气体, 主要成分是三氧化硫和氮气, 以及剩余未反应的氧气和二氧化硫 工业上不是用水或稀硫酸直接吸收, 是防止形成酸雾, 影响吸收速率 ⑥ B ⑦ 硫黄生成硫酸具有生产流程短、“三废”的治理量小等优势

### 硫酸工业中热能的合理利用

1. C C D  
2. 在转化器中, 将  $\text{SO}_2$  转化为  $\text{SO}_3$  产生的热量及时导出, 预热进入转化器的原料气, 这些原料气通过热交换器预热后再进入催化层, 在催化剂表面发生催化氧化反应, 充分利用了能源 冷凝管(或其他合理答案)

### 硫酸工业中的三废处理

(1)  $\text{NH}_4\text{HSO}_3 + \text{NH}_3 = (\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$     (2)  $\text{SO}_2 + \text{SO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} = 2\text{HSO}_3^-$     (3) 烟气中含有氧气, 可能发生氧化还原反应:  $2\text{H}_2\text{SO}_3 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $2(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3 + \text{O}_2 = 2(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $2\text{NH}_4\text{HSO}_3 + \text{O}_2 = 2\text{NH}_4\text{HSO}_4$ (任写一个)    (4)  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$     (5) ① 反应吸热    ②  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$   
③ 亚硫酸铵被氧化

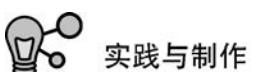


要点:

温室效应。形成原因: 二氧化碳的过度排放, 引起全球气候变暖。防治措施与对策: 节约用电, 减少发电烧煤; 保护森林和海洋, 如不砍伐森林, 不污染海洋以保护浮游生物的生存; 植树造林, 减少使用一次性方便木筷, 节约纸张等。

酸雨。形成原因: 大量燃烧含硫量高的煤而形成的, 多为硫酸型酸雨, 此外, 各种机动车排放的尾气也是形成酸雨的重要原因, 这是硝酸型酸雨。防治措施与对策: 开发新能源; 使用燃煤脱硫技术, 减少二氧化硫排放; 工业生产排放气体处理后再排放; 少开车, 绿色出行等。

水体富营养化。形成原因: 水体中 N、P 等营养盐含量过多而引起的水质污染现象。防治措施与对策: 减少外界营养物质的进入, 如做好工厂、生活用水的处理和排放; 不定期对河床淤泥进行暴晒; 使用不含磷、氮或含磷、氮含量低的洗涤剂等。



(1)  $\text{CaO} + \text{SO}_2 = \text{CaSO}_3$     (2) C、D    (3) 在含硫煤中加入生石灰的方法更好, 因为此法节约煤, 成本低    (4)  $c \rightarrow d \rightarrow b \rightarrow a \rightarrow e$     A、C



## 课题与研究

要点：(1) 资料来源可靠，主题突出；(2) 研究成果无科学性错误，呈现形式清晰，逻辑性强；(3) 图形、文字、符号规范、美观。

范例：常见的脱硫技术分类依据很多。如按脱硫剂的种类划分：以  $\text{CaCO}_3$ （石灰石）为基础的钙法；以  $\text{MgO}$  为基础的镁法；以  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  为基础的钠法；以  $\text{NH}_3$  为基础的氨法；以有机碱为基础的有机碱法。也有根据吸收剂和脱硫产物的状态分为：湿法烟气脱硫；半干法烟气脱硫；干法烟气脱硫。

海水烟气脱硫工艺是以天然海水为吸收剂来脱除烟气中  $\text{SO}_2$  的湿法脱硫技术。其脱硫原理：烟气中的二氧化硫被海水吸收并与氧气发生反应生成硫酸根离子与氢离子，使海水中氢离子浓度增加，海水的 pH 降低。另一方面，海水中存在大量碳酸根离子，与氢离子反应生成二氧化碳和水，抵消了由氢离子吸收  $\text{SO}_2$  造成的酸化作用，使 pH 恢复正常。生成物二氧化碳部分溶于水中，其余的随气体离开海水处理厂。整个脱硫过程中，要消耗一定的氧气。由于氧气是海洋生物生存所必需的，因此海水处理厂要将空气输入海水中，保证海水中含氧量维持正常。

海水脱硫工艺具有以下优点：以海水为吸收剂，可节约淡水资源；脱硫效率高，一般可达 95% 以上；不产生副产品和废弃物，无二次污染；不存在设备及管道结垢、堵塞等问题，系统利用率高；工艺简单，投资和运行费用较低。

## 本章测试

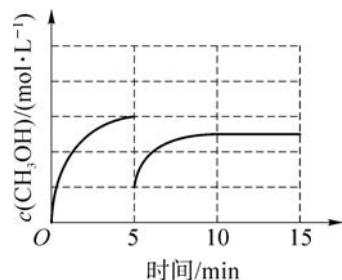
### 一、选择题

1. D 2. D 3. D 4. B 5. C 6. A 7. D 8. B 9. B 10. C 11. C 12. B 13. D 14. D

### 二、综合题

15. (1) 根据数据，可看出各时间段  $\text{H}_2$  体积的净变化量。可知 2~3 min 时间段内反应速率最快，因为此时反应放出的热使得体系温度升高，加快反应速率。4~5 min 时间段内反应速率最慢，此时随着反应进行，稀硫酸的浓度减小，反应速率减慢 (2) ① Zn 置换出 Cu，形成原电池，加快了反应速率 ② 如果硫酸铜加得太多，置换出的铜太多，覆盖在锌的表面，减小了锌与稀硫酸的接触面积，使反应速率减慢 (3) 升高反应的温度；适当提高稀硫酸的浓度；将锌粒换成锌粉等

16. (1) 4 (2)  $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  (3) D (4) 加快化学反应的速率；提高气体和催化剂的接触面积，提高催化效率（或加快反应速率） (5) 增大  $\text{CO}_2$  浓度、适当降温、及时移走生成物  $\text{CH}_3\text{OH}$  或  $\text{H}_2\text{O}$  (6) 要点：起点于 5 min 开始，且低于原图像点；终点也位于原图曲线延长线下方，且在 10 min 时达到平衡。



17. (1) D (2) A,C (3) 大量的二氧化碳遇氨水转为碳酸氢盐，但是遇到二氧化硫，两者发生反应，将二氧化硫转化为亚硫酸氢盐，反应为  $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_2 \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{HSO}_3^-$ ，也起到了脱硫作用

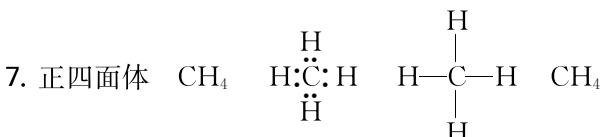
## 第7章 常见的有机化合物

### 7.1 饱和烃

天然气 甲烷的分子结构和性质

1. C 2. B 3. A 4. C 5. A,D,E,F

6. 海底(如可燃冰),岩层中(如石油气、页岩气) 混合物  $\text{CH}_4$  做燃料、化工原料等



8. (1)  $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \xrightarrow{\text{点燃}} \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$  氧化反应 (2)  $\text{CH}_4 + \text{Cl}_2 \xrightarrow{\text{光照}} \text{CH}_3\text{Cl} + \text{HCl}$  取代反应

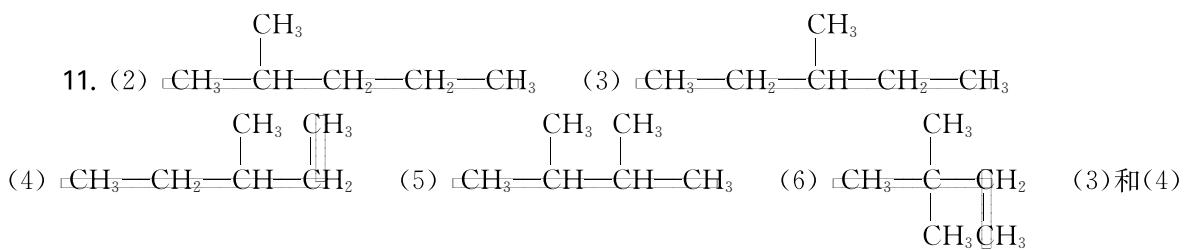
9. (1) 天然气 (2) 调大进风口。因为燃烧同体积的天然气需要的空气比管道煤气多 (3) 0.8~30

烷烃 同分异构现象

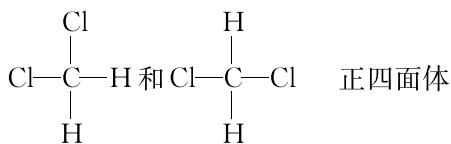
1. B 2. A 3. B 4. D 5. C 6. D 7. C 8. C

9.  $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ 、 $\text{CH}_3-\overset{\text{CH}_3}{\underset{|}{\text{CH}}}-\text{CH}_3$  正丁烷 异丁烷 同分异构体 同分异构现象

10. (1) A,C (2) C E,F,H G



#### 证据与推理



#### 生活与社会

(1) 嗅: 利用了天然气中添加的有臭味的气体,可以闻到臭味(天然气本身是没有气味的)。听: 气体从小的出口流出时会有声音,利用了管子内的压强比外界大气压大的性质。嗅的方法更容易发现天然气泄漏

(2) 在管子外面涂肥皂水,看是否有气泡冒出,如果有表示该地方有漏气

(3) 开关电器等操作有电火花产生,同明火一样会引发甲烷与氧气的反应,从而会引起爆炸。打电话也是同样道理,所以也不可以

### 7.2 不饱和烃

石油化工 煤化工

1. C 2. A 3. D 4. A 5. B



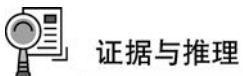
### 不饱和烃中碳原子的成键特点 乙烯的性质

1. D 2. D 3. A 4. D 5. C 6. C 7. B  
8.

编号	化学方程式	反应类型
①	$\text{C}_2\text{H}_4 + 3\text{O}_2 \xrightarrow{\text{点燃}} 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	氧化反应
②	$\text{CH}_2 = \text{CH}_2 + \text{H}_2 \xrightarrow[\triangle]{\text{催化剂}} \text{CH}_3 - \text{CH}_3$	加成反应
③	$\text{CH}_2 = \text{CH}_2 + \text{Br}_2 \longrightarrow \begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH}_2 \\   \qquad   \\ \text{Br} \qquad \text{Br} \end{array}$	加成反应
④	$\text{CH}_2 = \text{CH}_2 + \text{HCl} \xrightarrow[\triangle]{\text{催化剂}} \text{CH}_3 - \text{CH}_2\text{Cl}$	加成反应
⑤	$\text{CH}_2 = \text{CH}_2 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow[\triangle]{\text{催化剂}} \text{CH}_3 - \text{CH}_2\text{OH}$	加成反应

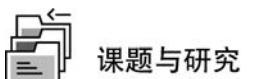
### 一种有机高分子材料——塑料

1. C 2. B 3. D 4. C  
5. (1) 氯乙烯 (2) 丙烯  
6.  $\text{CH}_2 = \text{CH}-\text{C}_6\text{H}_5$  500



### 证据与推理

①②④⑤ 若苯环内存在单双键交替的结构，则苯中六个碳碳键不完全相同，苯会具有碳碳双键的性质，应能使高锰酸钾的酸性溶液、溴水褪色；邻二甲苯也会有两种结构



### 课题与研究

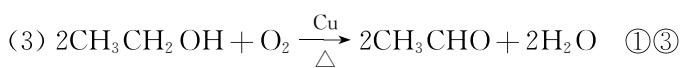
- (1) B、C  
(2)
- | 试管 | 解释或结论          |
|----|----------------|
| ①  | —              |
| ②  | 有汽油生成，含有不饱和烃   |
| ③  | 有不饱和烃(乙烯、丙烯)生成 |

- (3) 防止试管③中液体倒吸回试管②中(或用作安全瓶)

## 7.3 乙醇和乙酸

### 乙醇

1. D 2. A 3. C 4. C 5. B 6. B 7. D 8. C 9. D 10. B D  
11. (1)  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} \xrightarrow[170^\circ\text{C}]{\text{浓硫酸}} \text{CH}_2 = \text{CH}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$  ②⑤



12. (1) 防止液体暴沸 (2) 防止副反应发生,避免生成乙醚杂质 (3) 溶液褪色 溶液褪色  
 (4)  $\text{NaOH} - \text{SO}_2 + 2\text{NaOH} = \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2 + 2\text{NaOH} = \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

### 乙酸

1. D 2. C 3. D 4. A 5. C 6. B

7.

名称	碳碳双键	碳碳三键	羟基	羧基	酯基
符号		$-\text{C}\equiv\text{C}-$	$-\text{OH}$	$-\text{COOH}$	$-\text{COOR}$

8. (1)  $2\text{CH}_3\text{COOH} + \text{CaCO}_3 = 2\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{Ca}^{2+} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$   
 $2\text{CH}_3\text{COOH} + \text{Mg}(\text{OH})_2 = 2\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{Mg}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$   
 (2)  $2\text{CH}_3\text{COOH} + \text{Zn} = \text{Zn}^{2+} + 2\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2 \uparrow$

### 课题与研究

- (1)  $2\text{Cu} + \text{O}_2 \xrightarrow{\triangle} 2\text{CuO}$   $\text{CuO} + \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} \xrightarrow{\triangle} \text{CH}_3\text{CHO} + \text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$   
 $2\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + \text{O}_2 \xrightarrow[\triangle]{\text{Cu}} 2\text{CH}_3\text{CHO} + 2\text{H}_2\text{O}$  放热 (2) 加热,便于乙醇挥发 冷却,便于乙醛的收集  
 (3) 乙醇、乙醛 氮气 (4) 乙酸 C 蒸馏

## 7.4 糖、油脂和蛋白质

### 糖 油脂 蛋白质

1. 糖类、蛋白质、油脂、无机盐、维生素和水  
 2. 葡萄糖 蔗糖 淀粉 纤维素(或其他合理答案)  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  氧化  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \longrightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$   
 3. B 4. A 5. D  
 6. (1) 高级脂肪酸 酯基 (2) 油 脂肪  
 (3)   
 7. 氨基酸 氨基酸 氨基酸 肽链 氨基酸 二肽 蛋白质 (1) D (2) D (3) A (4) C  
 8. (1) 增大反应物的接触面积,从而提高反应速率 (2)  $\text{I}_2$  (3) C (4) 制饮料、制干冰、制纯碱等  
 (写出两种即可) (5) 56.8 (6) B

### 生活与社会

- ① 因为①类食用油中含有的不饱和脂肪酸的量更多

### 证据与推理

1. (1)  $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n + n\text{H}_2\text{O} \xrightarrow[\triangle]{\text{H}_2\text{SO}_4} n\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  (2) 试纸呈棕红色 (3) 碘水 溶液变蓝 溶液没  
 淀粉 葡萄糖  
 有变蓝



(2) 将衣物浸泡在含有肥皂的水中时,肥皂分子扩散并渗入衣料中,衣服上的油污被肥皂分子和水包围后,疏水性一端与油污混合,亲水性一端与水混合,肥皂分子将油污包围起来并将其分解成小块,包裹了油污的肥皂从衣料进入水中,最终被水冲洗掉



## 实践与制作

实验用品: 2只烧杯(250 mL),玻璃棒,酒精灯,陶土网,三脚架,猪油(或其他动物油脂或植物油),40% NaOH溶液,95%酒精,饱和食盐水

实验步骤:

① 在250 mL烧杯里,加入6克猪油和5mL 95%的酒精,然后加入10mL 40%的NaOH溶液。用玻璃棒搅拌,使其溶解(必要时可用小火微热)。

② 把烧杯放在陶土网上(或水浴中),用小火加热,并不断用玻璃棒搅拌。在加热过程中,若酒精和水被蒸发而减少应随时补充,以保持原有体积。为此可预先配制酒精和水的混合液(1:1)20mL,以备添加。反应一段时间后,取出几滴试样放入试管,在试管中加入蒸馏水5~6mL,加热振荡。静置时,有油脂析出,说明皂化不完全,可滴加碱液继续皂化。

③ 将20mL热的蒸馏水慢慢加到皂化完全的黏稠液中,搅拌使它们互溶。然后将该黏稠液慢慢倒入盛有150mL热的饱和食盐水中,边加边搅拌。静置后,肥皂便盐析上浮,待肥皂全部析出、凝固后可用玻璃棒取出,肥皂即制成。

④ 制作过程中需要注意:油脂不易溶于碱水,加入酒精为的是增加油脂在碱液中的溶解度,加快皂化反应速率;加热若不用水浴,则须用小火;皂化反应时,要保持混合液的原有体积,不能让烧杯里的混合液煮干或溅溢到烧杯外面



## 课题与研究

要点:

(1) 体检是帮助人们了解身体的健康水平。血脂检查,可以预防或了解是否患有肥胖症、动脉硬化、高血脂、冠心病、糖尿病、肾病综合征,以及其他一些心血管疾病。血糖检查,主要是筛选、诊断以及监测低血糖症、高血糖症、糖尿病前期和糖尿病。

(2) 检测结果为:总胆固醇偏高、甘油三酯偏高、低密度脂蛋白胆固醇偏高、血糖偏高。体检结果提示个人有高脂、高糖饮食、肥胖等风险。若为病理性增高则见于原发性和继发性高脂蛋白血症、动脉粥样硬化、肾病综合征、糖尿病等。

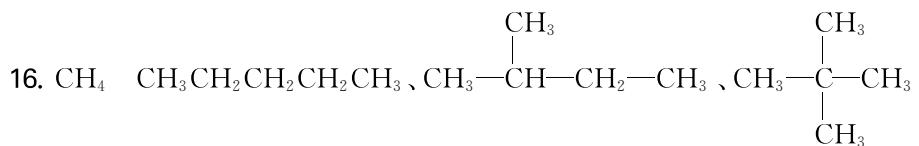
(3) 建议低脂、低糖饮食,多食蔬菜、水果、坚果类食物,调整饮食结构,适当运动,定期复查。如有明显增高,需在医师指导下使用降脂药物治疗。

# 本 章 测 试

## 一、选择题

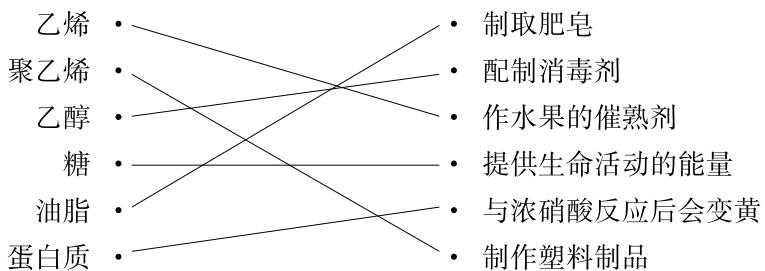
1. B 2. B 3. A 4. B 5. A 6. C 7. B 8. C 9. A 10. B 11. B 12. D 13. D 14. B  
15. C

## 二、综合题

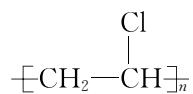
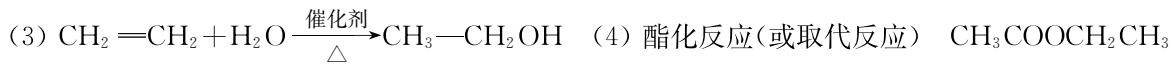


17. C B D A E

18. 物质



19. (1) 28 (2) 羧基(或 $\text{—COOH}$ ) 取样,滴加石蕊溶液,溶液变红,证明有羧基



## 说 明

本书根据教育部颁布的《普通高中化学课程标准(2017年版2020年修订)》和高中化学教科书编写,经上海市中小学教材审查委员会审查准予使用。

编写过程中,上海市中小学(幼儿园)课程改革委员会专家工作委员会、上海市教育委员会教学研究室、上海市课程方案教育教学研究基地、上海市心理教育教学研究基地、上海市基础教育教材建设研究基地、上海市化学教育教学研究基地(上海高校“立德树人”人文社会科学重点研究基地)及基地所在单位复旦大学给予了大力支持。在此表示感谢!

欢迎广大师生来电来函指出书中的差错和不足,提出宝贵意见。出版社电话:021-64848025。

**声明** 按照《中华人民共和国著作权法》第二十五条有关规定,我们已尽量寻找著作权人支付报酬。著作权人如有关于支付报酬事宜可及时与出版社联系。



经上海市中小学教材审查委员会审查  
准予使用      准用号 II-GJ-2021043



绿色印刷产品

ISBN 978-7-5478-5572-0

A standard EAN-13 barcode representing the ISBN 978-7-5478-5572-0.

9 787547 855720 >

定价：36.00元