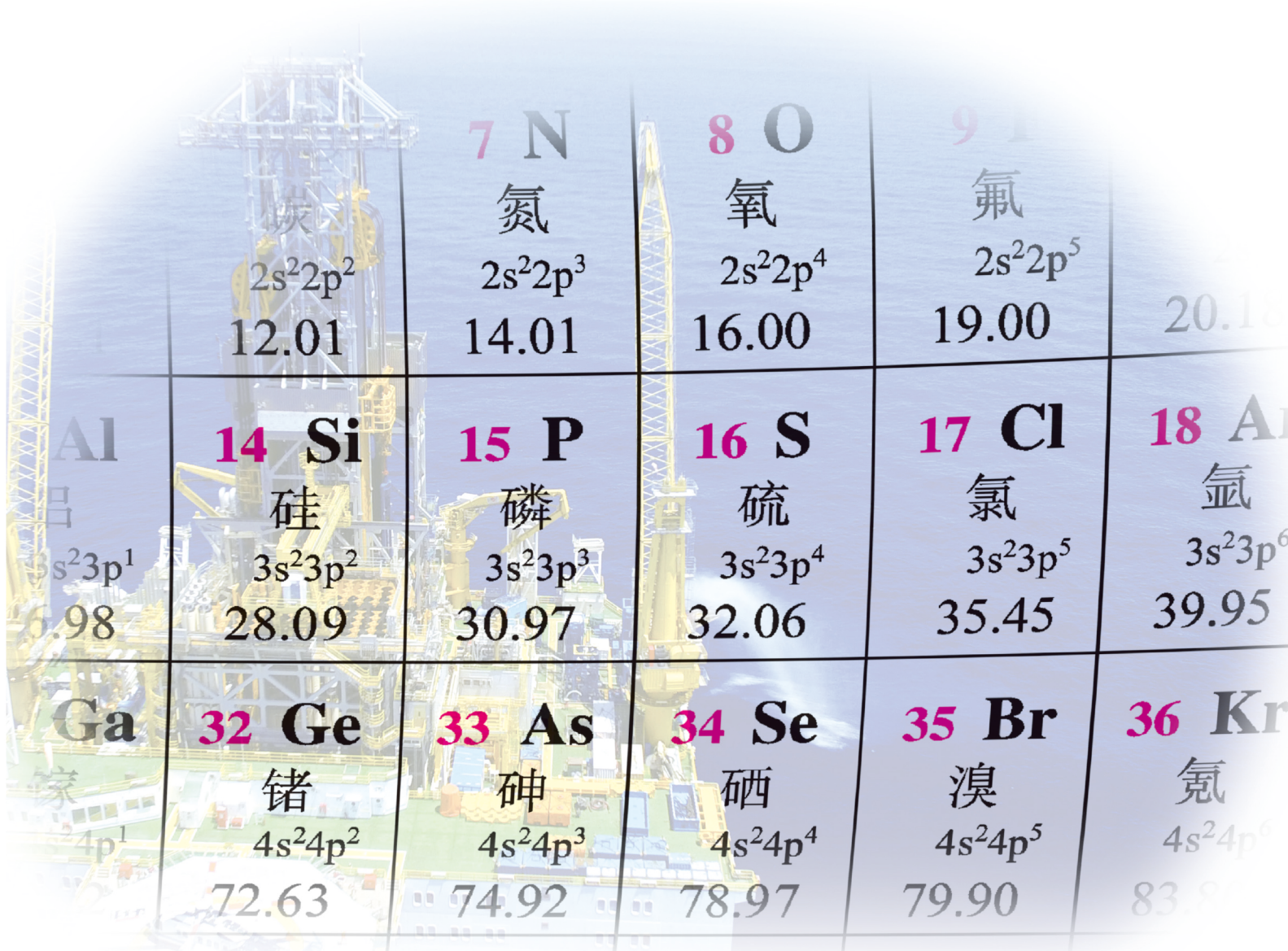
国家教材委员会专家委员会审核通过 2019

普通高中教科书

化学

必修

第二册



山东科学技术出版社

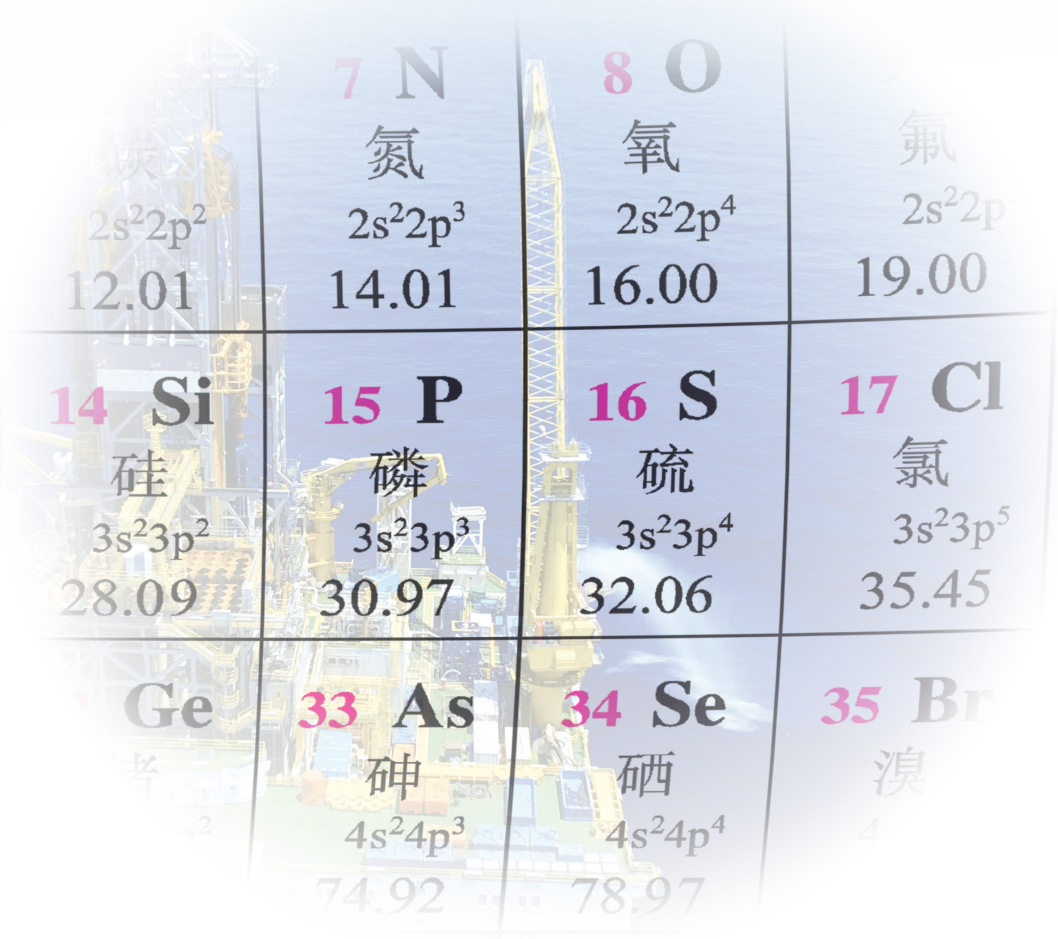
普 通 高 中 教 科 书

化 学

必 修

第二册

总 主 编　王　磊　陈光巨
本册主编　王　磊



山东科学技术出版社
· 济南 ·

致同学们

欢迎同学们进入高中化学课程的学习！

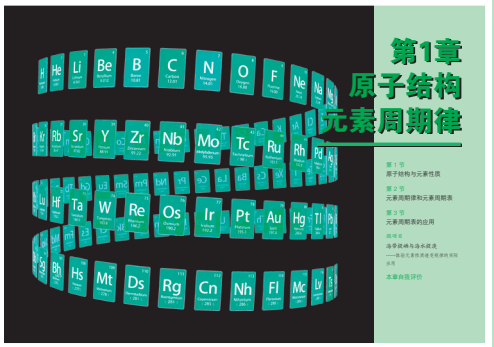
依据《普通高中化学课程标准（2017年版）》，化学课程分为必修课程、选择性必修课程和选修课程三大类。其中，必修课程是普通高中学生发展的共同基础，努力体现化学基本观念与发展趋势，促进同学们化学学科核心素养的发展，以适应未来社会发展需求，是全体同学必须修习的课程。选择性必修课程包括“化学反应原理”“物质结构与性质”“有机化学基础”三个模块，培养同学们深入学习与探索化学的志向，引导同学们更加深入地认识化学科学、了解化学研究的内容与方法、提升化学学科核心素养的水平，是同学们根据个人需求与升学考试要求选择修习的课程。选修课程包括“实验化学”“化学与社会”“发展中的化学科学”三个系列，面向对化学学科有不同兴趣和不同需要的同学，拓展化学视野，深化对化学科学及其价值的认识，是同学们自主选择修习的课程。

依据《普通高中化学课程标准（2017年版）》的理念和要求，我们编写了本套教材，力求选取最具化学学科核心素养发展价值的知识内容和学习素材，按照科学、合理、有效的学习进阶，安排学习内容，设计学习活动，引导同学们学习最为核心的基础知识和基本技能，掌握最有价值的科学方法和思想方法，形成正确的思想观念和科学态度，达成“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”“科学态度与社会责任”等方面化学学科核心素养的发展目标。

为了便于同学们学习，我们将必修课程教材分成两册编写。在学习这两册教材的过程中，同学们将通过观察辨析一定条件下的物质形态及变化的宏观现象，初步掌握物质及其变化的分类方法，能够运用有关符号表征物质及其变化；从微观层面理解物质的组成、结构与性质的联系，形成“结构决定性质，性质决定应用”的观念，学会根据物质的微观结构推论元素及其化合物在特定条件下可能具有的性质和发生的变化；掌握探究物质性质的主要方法和基本程序，关注化学反应中的物质变化和能量变化，能够预测在一定条件下某种物质可能发生的化学反应，增强变化观念和平衡思想；初步学会收集各种证据，掌握对物质的性质及物质的变化提出可能的假设并予以验证的方法；发现和提出有研究价值的化学问题，独立或合作依据探究目的设计并优化实验方案，完成实验操作，对观察记录进行信息加工、获得实验结论并提出进一步探究的设想，培养独立思考、敢于质疑、

勇于创新的精神；关注与化学有关的社会问题，深刻理解化学、技术、社会和环境之间的关系，认识化学科学的独特魅力及对人类社会发展的重大贡献，强化社会责任意识。

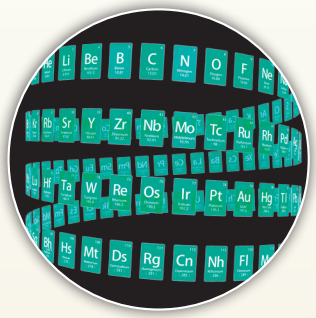
本必修课程教材在呈现形式上具有一系列独具匠心的设计：每节开始设置“联想·质疑”栏目，铺设情境，提出问题，为同学们的探究学习做好铺垫；通过“观察·思考”“活动·探究”“交流·研讨”“迁移·应用”等活动性栏目组织同学们进行自主探究和开展合作学习，并利用“方法导引”栏目对有关活动进行有效的指导；利用“资料在线”“拓展视野”“身边的化学”“化学与技术”等资料性栏目丰富同学们的知识，拓展同学们的视野；每节的“练习与活动”及每章的自我评价设置“学习·理解”“应用·实践”“迁移·创新”三个层次，提供精选习题和有关活动，以提升同学们理论联系实际的迁移应用能力以及发现问题、分析问题和解决问题的能力；每章在“本章自我评价”中列出化学学科核心素养的发展重点和学业要求，以便同学们据此检查自己的学习情况；每章设置一个微项目，开展项目式学习，引导同学们面对实际的化学问题，学以致用，实现所学知识向关键能力和核心素养的转化。

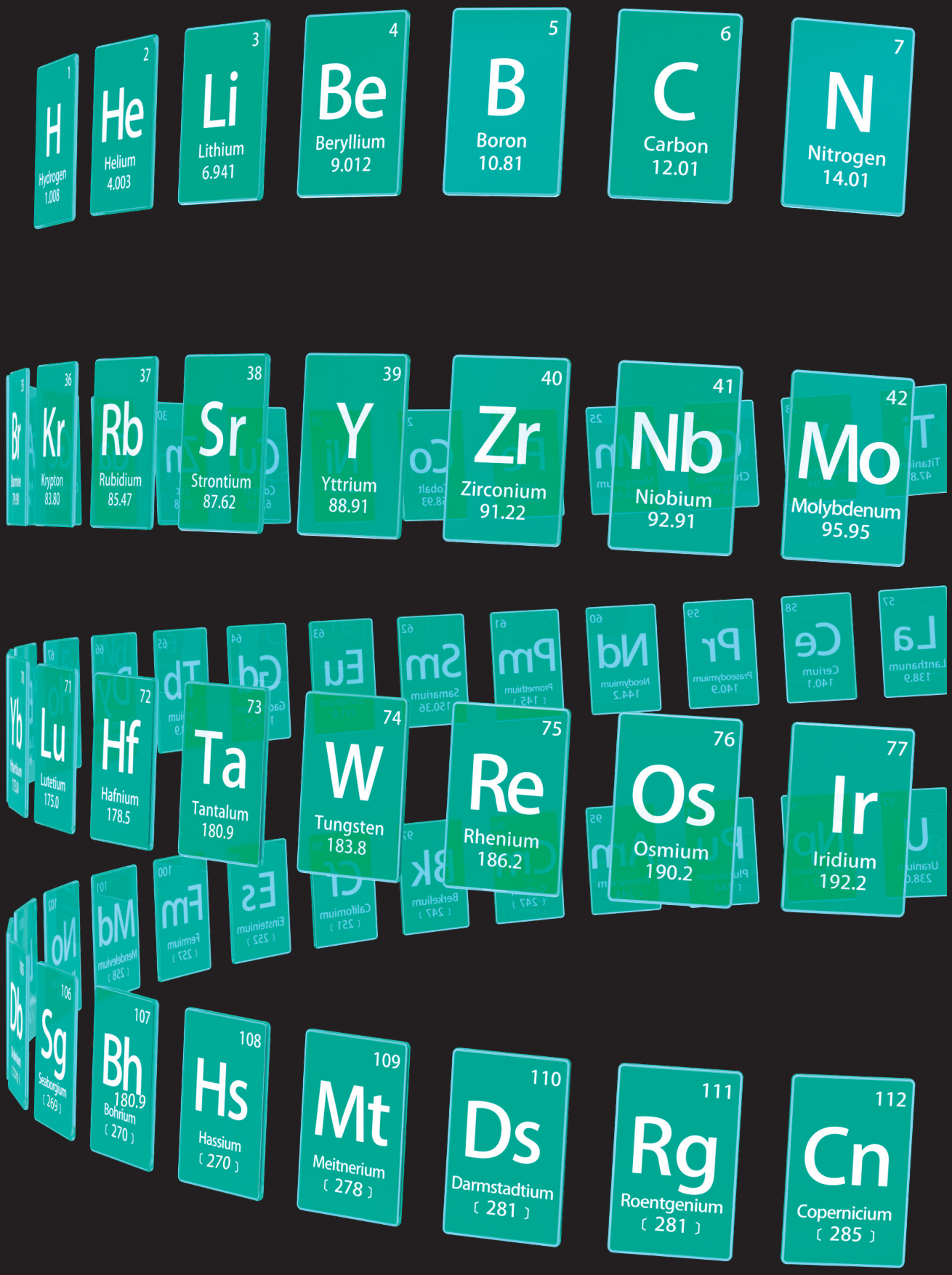


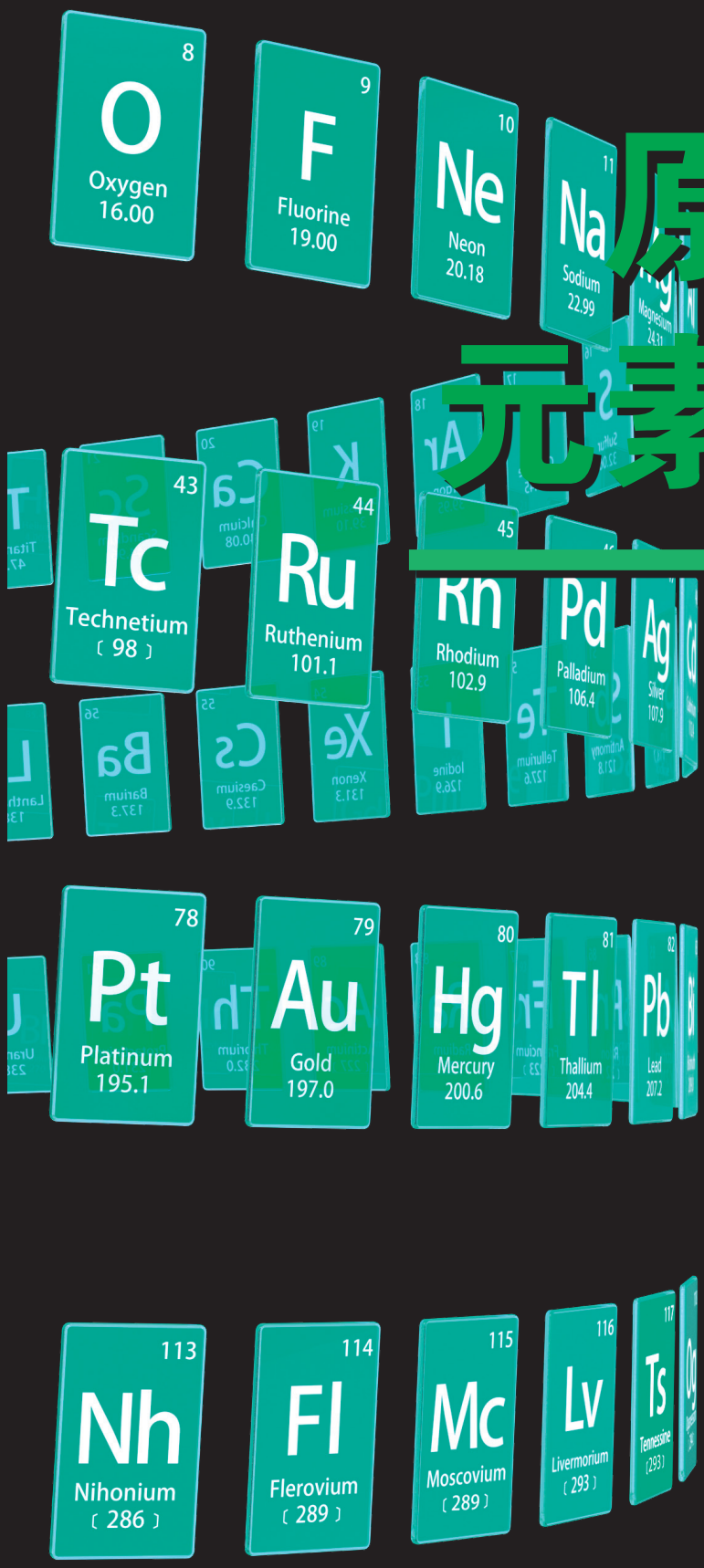
本册教材是必修第二册，共3章，每章各有3节和1个微项目，主要是引导同学们认识原子结构，建构元素周期律，知道元素周期表的结构，认识原子结构、元素性质与元素在元素周期表中位置的关系以及原子结构、元素性质呈现的周期性变化规律；建立化学键概念，认识化学反应体系能量改变与化学键的关系，知道化学反应可以实现化学能与其他形式能量的转化；了解化学反应具有一定的限度和速率，知道化学反应速率的表示方法，体会从限度、速率两个方面认识和调控化学反应的重要性；知道有机化合物的结构特点，认识一些典型的有机化合物的性质及其与结构特点的关系，掌握主要的有机反应类型，了解合成新物质是有机化学研究价值的重要体现，在学习过程中发展同学们的化学学科核心素养。

相信本套教材能够成为同学们认识化学科学、学习化学学科的好帮手，为同学们在学校的组织和老师的指导下发展化学学科核心素养、提高学业水平，打下坚实的基础，开辟广阔的空间。

CONTENTS 目录




1 H Hydrogen 1.008
2 He Helium 4.003
3 Li Lithium 6.941
4 Be Beryllium 9.012
5 B Boron 10.81
6 C Carbon 12.01
7 N Nitrogen 14.01
36 Kr Krypton 83.80
37 Rb Rubidium 85.47
38 Sr Strontium 87.62
39 Y Yttrium 88.91
40 Zr Zirconium 91.22
41 Nb Niobium 92.91
42 Mo Molybdenum 95.95
71 Lu Lutetium 175.0
72 Hf Hafnium 178.5
73 Ta Tantalum 180.9
74 W Tungsten 183.8
75 Re Rhenium 186.2
76 Os Osmium 190.2
77 Ir Iridium 192.2
106 Sg Seaborgium (269)
107 Bh Bohrium (270)
108 Hs Hassium (270)
109 Mt Meitnerium (278)
110 Ds Darmstadtium (281)
111 Rg Roentgenium (281)
112 Cn Copernicium (285)



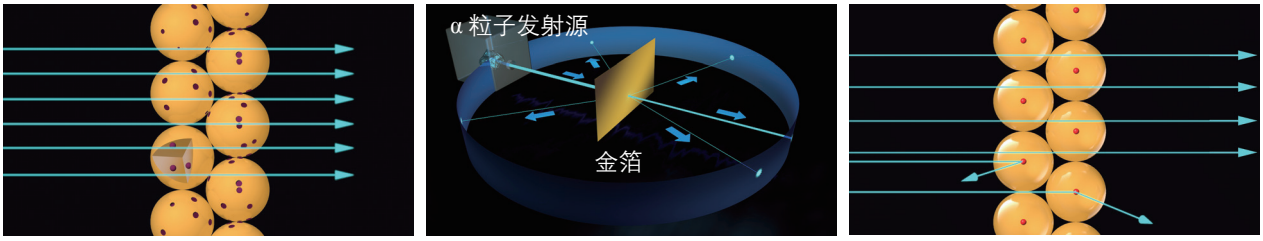
第1章 原子结构 元素周期律

第 1 节　原子结构与元素性质

原子是构成物质的一种基本微粒，物质的组成、结构和性质都与原子结构密切相关。那么，原子的内部结构是怎样的？原子结构与元素性质又有着怎样的关系呢？

联想 · 质疑

英国物理学家卢瑟福（E.Rutherford）在 α 粒子散射实验（图 1-1-1）的基础上，经过理论分析和计算，提出了核式原子模型：原子由原子核和核外电子构成，原子核带正电荷，位于原子的中心；电子带负电荷，在原子核周围空间做高速运动（图 1-1-2）。



实验前，根据“葡萄干布丁”原子模型进行的预测

实验结果：绝大多数 α 粒子通过，少数 α 粒子偏转，个别 α 粒子被反弹

图1-1-1　卢瑟福实验示意图

卢瑟福通过实验和理论分析构建的核式原子模型，形象地描述了原子结构。那么，原子核的内部结构是怎样的，电子在核外空间的运动状态又是怎样的？人们对原子结构认识的不断深入，对认识元素性质有哪些帮助？

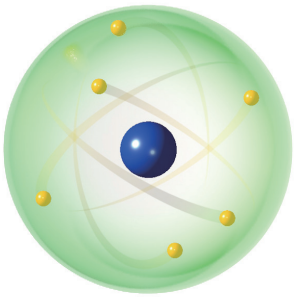


图1-1-2　卢瑟福核式原子模型

一、原子结构

1. 原子核　核素

原子由原子核和核外电子构成，而原子核由更小的微粒——质子和中子构成。

交流 · 研讨

根据表 1-1-1 中所列数据讨论：

1. 在原子中，质子数、核电荷数和核外电子数之间存在着怎样的关系？为什么？

2. 原子的质量主要由哪些微粒决定？

3. 如果忽略电子的质量，质子、中子的相对质量分别取其近似整数值，那么，原子的相对质量在数值上与原子核内的质子数和中子数有什么关系？

表1-1-1　电子、质子和中子的基本数据

微粒	电子	质子	中子
质量/kg	9.109×10^{-31}	1.673×10^{-27}	1.675×10^{-27}
相对质量	0.000 548 4	1.007	1.008
电量/C	1.602×10^{-19}	1.602×10^{-19}	0
电荷	−1	+1	0

质子带正电荷，中子不带电，质子和中子依靠一种特殊的力——核力结合在一起。对于一个原子来说：

核电荷数 = 质子数 = 核外电子数

电子的质量很小，相对于质子和中子的质量，可以忽略不计，因此原子的质量几乎全部集中在原子核上；也就是说，原子的质量可以看作原子核中质子的质量和中子的质量之和。人们将原子核中质子数和中子数之和称为**质量数**（mass number）。

质子数（Z）+ 中子数（N）= 质量数（A）

一般用符号 ${}^{A}_{Z}\mathrm{X}$ 表示一个质量数为 A、质子数为 Z 的原子，那么，构成原子的有关微粒之间的关系可表示为：

$$\text{原子 } {}^{A}_{Z}\mathrm{X}\begin{cases}\text{原子核}\begin{cases}\text{质子}\quad Z\text{ 个}\\ \text{中子}\quad (A-Z)\text{ 个}\end{cases}\\ \text{核外电子}\quad Z\text{ 个}\end{cases}$$

观察 · 思考

比较氕、氘、氚的原子结构

科学家发现有三种氢原子：氕（piē）、氘（dāo）、氚（chuān）。这三种氢原子中质子、中子和电子的数量关系如图 1-1-3 所示。

图1-1-3 氕、氘、氚原子中质子、中子和电子的数量关系示意图

原子	氕	氘	氚
俗称	–	重氢	超重氢
发现年份	1766	1931	1934

思考

1. 氕、氘、氚的原子结构有何异同？如何用符号表示这三种氢原子？
2. 氕、氘、氚属于同一种元素吗？

人们把具有相同数目的质子和相同数目的中子的一类原子称为**核素**（nuclide）。氢元素有氕、氘、氚三种核素，分别用 $^{1}_{1}H$、$^{2}_{1}H$ 和 $^{3}_{1}H$ 表示。在天然元素中，许多元素都具有多种核素，如碳元素有三种核素（$^{12}_{6}C$、$^{13}_{6}C$、$^{14}_{6}C$）、氧元素有三种核素（$^{16}_{8}O$、$^{17}_{8}O$、$^{18}_{8}O$）、铀元素有三种核素（$^{234}_{92}U$、$^{235}_{92}U$、$^{238}_{92}U$）、氯元素有两种核素（$^{35}_{17}Cl$、$^{37}_{17}Cl$）等；有些元素则只有一种核素，如氟（$^{19}_{9}F$）、钠（$^{23}_{11}Na$）等。

资料在线

元素的相对原子质量

元素的相对原子质量是其各种核素的相对原子质量分别与各种核素在自然界里的丰度（某种核素在这种元素的所有天然核素中所占的比例）的乘积之和。例如，氯元素有两种核素：$^{35}_{17}Cl$，相对原子质量为 34.97，其丰度为 75.77%；$^{37}_{17}Cl$，相对原子质量为 36.97，其丰度为 24.23%。因此，氯元素的相对原子质量为 $34.97\times75.77\% + 36.97\times24.23\% \approx 35.45$。

质子数相同而中子数不同的同一种元素的不同核素互为**同位素**（isotope）。例如，$^{1}_{1}H$、$^{2}_{1}H$、$^{3}_{1}H$ 互为同位素，其中 $^{2}_{1}H$、$^{3}_{1}H$ 可用于制造氢弹；$^{234}_{92}U$、$^{235}_{92}U$、$^{238}_{92}U$ 互为同位素，其中 $^{235}_{92}U$ 是核反应堆的燃料。

同位素分为稳定同位素和放射性同位素两种。放射性同位素最常见的应用是进行同位素示踪和用作放射源。例如，追踪植物中放射性 $^{32}_{15}P$ 发出的射线，能够确定磷在植物中的作用部位；应用放射性同位素发出的射线，可以进行金属制品探伤、人体疾病诊断和肿瘤治疗等。

化学与技术

未来的能源——核聚变能

核聚变是将轻原子核融合成较重原子核的核反应，它所产生的能量比核裂变反应产生的能量大得多。例如，1 g 氘（$^{2}_{1}H$）全部聚合为氦所放出的热能可使 4×10^{8} g 冰变成水蒸气。另外，核聚变的污染轻，不会产生放射性垃圾，是实现碳中和目标的有效技术方案之一。但是，要想利用核聚变帮助人类长久地解决能源问题，必须使核聚变产生的能量均匀地释放出来，也就是要实现受控核聚变。目前，实现受控核聚变遇到的最大技术障碍是难以将核燃料加热到几千万甚至上亿摄氏度的高温。现在，科学家正在探索在室温下实现受控核聚变的可能性。我国在这一领域的研究已取得重要突破。我国新一代“人造太阳”等离子体电流首次突破 100 万安培（1 兆安），标志着我国“人造太阳”向着核聚变点火（实现可控核聚变的关键步骤）迈出了重要一步。

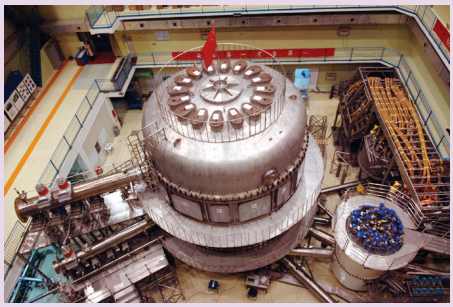


图1-1-4　核聚变反应控制室

2. 核外电子排布

物质在化学反应中的表现与组成该物质的元素的原子结构有着密切的联系，其中核外电子扮演着非常重要的角色。

电子在原子内有着“广阔”的运动空间。

现代物质结构理论认为，在含有多个电子的原子里，能量低的电子通常在离核较近的区域内运动，能量高的电子通常在离核较远的区域内运动。为了研究问题的方便，科学家认为电子是在原子核外离核由近及远、能量由低到高的不同电子层上分层排布的。通常将能量最低、离核最近的电子层称为第一电子层，能量稍高、离核稍远的电子层称为第二电子层……由内向外依次类推，共有 7 个电子层。这些电子层由内向外可依次用 K、L、M、N、O、P、Q 表示。每个电子层最多能容纳 $2n^2$（n 代表电子层数）个电子，而最外层所能容纳的电子则不超过 8 个（第一层为最外层时不超过 2 个）。

人们常用原子结构示意图来简明地表示电子在原子核外的分层排布情况。图 1-1-5 给出了核电荷数为 1 ~ 20 的元素的原子结构示意图。

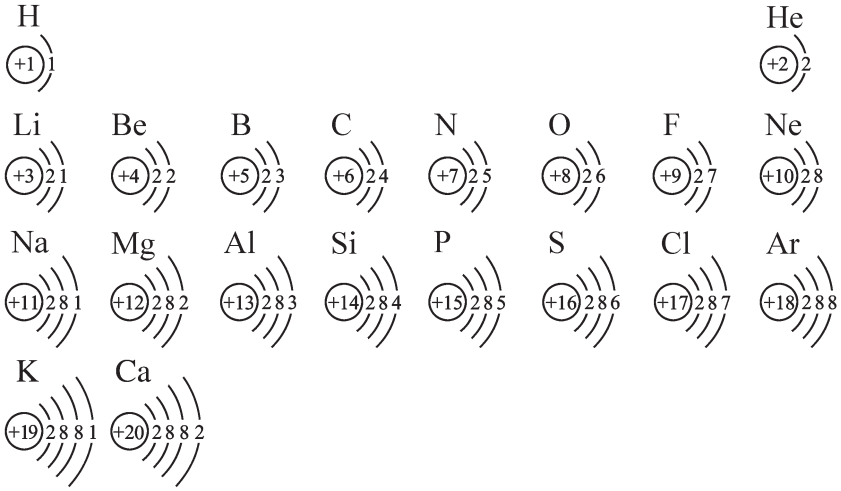


图1-1-5 核电荷数为1～20的元素的原子结构示意图

元素的性质与原子的最外层电子数密切相关。例如，稀有气体元素原子最外层电子数为 8（氦原子除外，它的最外层只有 2 个电子），原子结构稳定，原子既不容易获得电子也不容易失去电子；金属元素原子最外层电子数一般小于 4，原子较易失去电子形成阳离子；非金属元素原子最外层电子数一般大于或等于 4，原子较易获得电子形成阴离子。

化合价是元素的一种重要性质。元素的化合价与原子的电子层结构，特别是最外层电子数有关。例如，稀有气体元素原子的电子层已达到稳定结构，元素通常表现为 0 价；钠原子的最外层只有 1 个电子，原子容易失去 1 个电子形成 Na^+ 而达到稳定结构，因此钠元素在化合物中呈 +1 价；氯原子的最外层有 7 个电子，原子容易获得 1 个电子形成 Cl^- 而达到稳定结构，因此氯元素在氯化钠、氯化镁等氯化物中呈 −1 价。

拓展视野

认识核外电子的运动

电子极其微小，即使使用最先进的扫描隧道显微镜（STM），也只能观察到原子，而观察不到比原子小得多的电子。一个多世纪以来，科学家主要采用原子光谱和建立模型的方法对核外电子的运动进行研究。其中，玻尔原子模型和电子云模型对人们认识核外电子的运动起到了极大的促进作用。

玻尔原子模型 1913 年，玻尔在核式原子模型的基础上提出了新的原子模型：核外电子处在一定的轨道上绕核运行，在不同轨道上运动的电子具有不同的能量且能量是量子化的（即不是连续的）；当电子从一个轨道跃迁到另一个轨道时，会辐射或吸收一定的能量；等等。现代物质结构理论保留了玻尔原子模型合理的部分，并在此基础上进一步发展。

图1-1-6 丹麦科学家 玻尔（N.Bohr，1885—1962）

电子云模型　宏观物体的运动都有一定的轨迹，如人造卫星按一定的轨道围绕地球运行，而在原子核外运动的电子并不遵循宏观物体的运动规律。人们不可能同时准确地测定电子在某一时刻所处的位置和运动速度，也不能描画出它们的运动轨迹，而只能描述电子在原子核外空间某处单位体积内出现的概率大小。为了形象地表示电子在原子核外空间运动的这一特征，人们常用单位体积内小点的疏密程度来表示电子在原子核外空间某处单位体积内出现概率的大小。这种形象地描述电子在原子核外空间某处单位体积内出现概率大小的模型称为“电子云模型”。

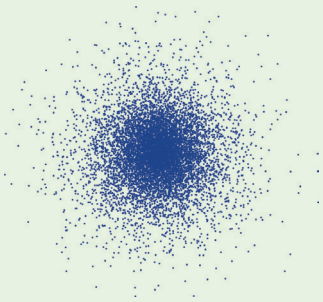


图1-1-7　氢原子的“电子云模型”

二、原子结构与元素原子得失电子能力

随着对原子结构认识的不断深入，人们对原子结构与元素原子得失电子能力之间关系的认识也越来越深刻。

活动 · 探究

比较钠、镁、钾元素原子的失电子能力

基于对原子结构与元素原子失电子能力之间关系的认识，完成下列活动。

1. 预测钠、镁两种元素原子失电子能力的强弱，并从原子结构的角度说明理由。

2. 预测钠、钾两种元素原子失电子能力的强弱，并从原子结构的角度说明理由。

【实验 1】用小刀切下一小块金属钠，用滤纸吸干表面的煤油，放入盛有水并滴加有几滴酚酞溶液的烧杯中，立即盖上表面皿；取一小段镁条，用砂纸除去表面的氧化膜，放入盛有等量水并滴加有几滴酚酞溶液的另一只烧杯中，立即盖上表面皿。分别观察现象。

【实验 2】取两只烧杯，向其中加入等量的水并加入几滴酚酞溶液。用小刀分别切下大小相似的一小块金属钠和一小块金属钾，用滤纸吸干表面的煤油，同时将金属钠和金属钾分别放入上述两只烧杯中，立即盖上表面皿，观察现象。

方法导引

通过单质与水（或酸）的反应比较元素原子失电子能力

在多数情况下，可以通过比较元素的单质与水（或酸）反应置换出氢气的难易程度来判断元素原子失电子能力的强弱。

实验记录

实验现象	实验结论

思考

1. 你对以上两组元素原子失电子能力强弱的预测正确吗？你从原子结构的角度对它们失电子能力强弱的解释是否合理？哪些证据支持了你的预测和解释？

2. 通过前面的学习，你已经可以从质子数、中子数、核电荷数、核外电子数、最外层电子数、电子层数等方面描述原子的结构了，它们是否会影响元素原子失电子能力的强弱？如果会，如何影响？如果不会，说明理由。

3. 请根据以上讨论来分析说明硫、氯两元素中哪种元素原子的得电子能力强。

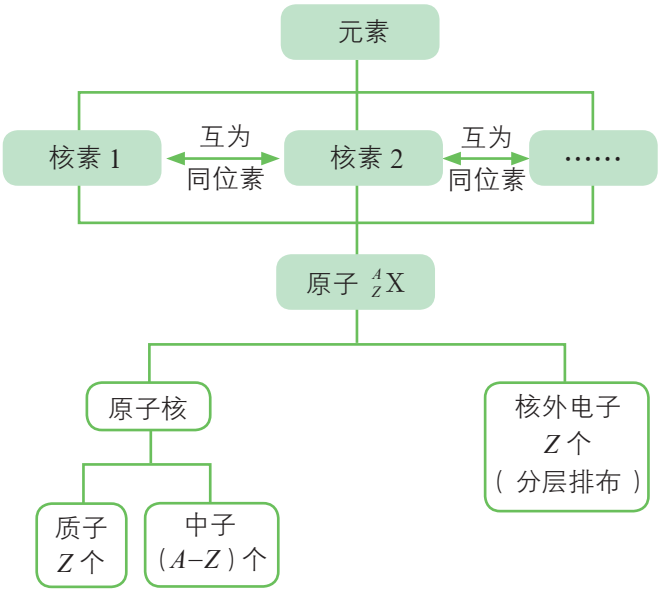
4. 如何用图示的方式描述原子结构对元素原子得失电子能力的影响？

元素原子得失电子的能力与原子的最外层电子数、核电荷数和电子层数均有关系。在如图 1-1-5 所示的核电荷数为 1 ~ 20 的元素（除原子已达到稳定结构的 He、Ne、Ar 三种元素外）中，若原子的电子层数相同，则核电荷数越大，最外层电子离核越近，原子越难失电子、越容易得电子；若原子的最外层电子数相同，则电子层数越多，最外层电子离核越远，原子越容易失电子、越难得电子。

通常所说的元素的金属性、非金属性分别与元素原子的失电子能力和得电子能力相对应。

概括 · 整合

1. 请用图示的方法描述构成原子的各种微粒与元素、核素之间的关系，以及元素、核素与同位素之间的关系，示例如下：



2. 概括核外电子排布的规律。

3. 说明原子结构与元素原子得失电子能力之间的关系。

练习与活动

学习 · 理解

1. 原子的表示。

（1）通常用 $^{A}_{Z}X$ 表示一个原子，其中 A 表示_____，Z 表示_____。

（2）补全下表。

微粒符号	质子数	中子数	质量数	核外电子数
$^{12}_{6}C$				
	8	8		
$^{18}_{8}O$				

2. 下列原子结构示意图是否正确？如有错误，指出错误的原因并改正。

F (+9) 2 8 _____　　Na (+11) 2 9 _____　　Mg (+12) 2 8 2 _____

Si (+14) 2 9 3 _____　　S (+16) 2 7 7 _____

3. 下列原子或离子的结构示意图表示的各是什么微粒？

(+8) 2 6　　(+11) 2 8　　(+17) 2 8 7　　(+17) 2 8 8

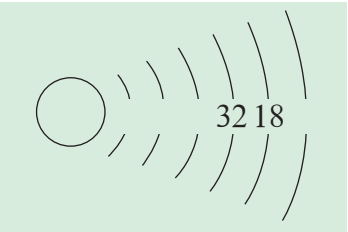
4. 请分别利用原子结构的知识和实验事实论证“镁元素原子的失电子能力强于铝元素原子”。

应用 · 实践

5. 据报道，某些花岗岩会释放氡（$^{222}_{86}Rn$），对人体造成伤害。

（1）氡原子的质量数是_____，质子数是_____，中子数是_____。

（2）请将 Rn 的原子结构示意图补全。



第5（2）题图

（3）请根据 Rn 的原子结构预测氡气的化学性质（　　）。

A. 非常活泼，容易与氧气等非金属单质反应

B. 比较活泼，能与钠等金属反应

C. 不太活泼，与氮气性质相似

D. 很难与其他物质发生反应

选择该选项的理由是_____。

（4）研究发现，镭能蜕变为 $^{222}_{86}Rn$，故将 $^{222}_{86}Rn$ 称为镭射气；钍能蜕变为 $^{220}_{86}Rn$，故将 $^{220}_{86}Rn$ 称为钍射气；锕能蜕变为 $^{219}_{86}Rn$，故将 $^{219}_{86}Rn$ 称为锕射气。$^{222}_{86}Rn$、$^{220}_{86}Rn$、$^{219}_{86}Rn$（　　）。

A. 属于同种元素　　B. 互为同位素　　C. 属于同种核素　　D. 属于同种原子

判断依据：_____决定元素种类，_____决定核素种类。

6. 比较下列两组元素原子得电子能力的强弱，并从原子结构的角度进行论证。

（1）O 和 F　　（2）O 和 S

7. 请利用原子结构的知识回答下列问题。

（1）预测：金属钠和金属铝哪一种更容易与氯气反应？为什么？

（2）元素的化合价与原子的电子层结构，特别是最外层电子数有关。请尝试概括核电荷数为 1～20 的元素的化合价与元素原子最外层电子数之间的关系。

第 2 节　元素周期律和元素周期表

物质世界尽管丰富多彩、变化无穷，但物质都是由元素组成的。人类在长期的生产活动和科学实验中，逐渐认识了元素之间的内在联系和元素性质变化的规律性，并以一定的方式将它们表示出来。

联想 · 质疑

目前，已经发现的元素有 110 多种。在元素周期表中，元素是有序排列的。你是否想过：元素为什么会按照这样的顺序在元素周期表中排列？它们之间存在着什么关系？人们是怎样描述这种关系的？

图1-2-1　元素周期表

一、元素周期律

原子序数（atomic number）是元素在元素周期表中的序号，其数值等于该元素原子核内的质子数。研究原子序数为 1 ~ 18 的元素，可以帮助我们认识元素之间的内在联系和元素性质的变化规律。

活动 · 探究

元素周期律初探

1. 下表所列的是部分元素的有关信息，请将表中所缺内容补充完整。

元素符号	元素名称	原子序数	核电荷数	电子层数	原子最外层电子数	原子半径/nm	相对原子质量	最高化合价和最低化合价（常见）
H						0.030	1.008	+1
He						—	4.003	0
Li						0.152	6.941	+1
Be						0.111	9.012	+2
B						0.086	10.81	+3
C						0.077	12.01	+4，–4
N						0.070	14.01	+5，–3
O						0.066	16.00	–2
F						0.064	19.00	–1
Ne						—	20.18	0
Na						0.186	22.99	+1
Mg						0.160	24.31	+2
Al						0.143	26.98	+3
Si						0.117	28.09	+4，–4
P						0.110	30.97	+5，–3
S						0.106	32.06	+6，–2
Cl						0.099	35.45	+7，–1
Ar						—	39.95	0

2. 请运用作图的方法对表中的各项内容进行比较、分析，寻找其中的规律。

3. 如何描述你发现的规律？

方法导引

如何构建变量关系模型

研究变量之间的关系和变化规律时，可以借鉴数学中研究函数的思路，寻找自变量和因变量的关系，具体包括：

1. 确定自变量。本活动中，以原子序数为自变量。

2. 选取因变量，寻找自变量和因变量之间的关系。

3. 选择表达形式，确定用哪种形式呈现变化规律。人们常常借助柱状图或折线图来表示自变量与因变量之间的关系。

4. 描述规律，表达自变量和因变量之间的关系。例如，可用“随着温度的升高，硝酸钾的溶解度增大”来描述温度与硝酸钾的溶解度之间的关系，其中，温度是自变量，硝酸钾的溶解度是因变量。

通过探究可以发现，随着原子序数的递增，元素原子的最外层电子数、原子半径、元素的化合价等均呈现周期性变化。

在大量科学研究的基础上，人们归纳出一条规律：元素的性质随着元素原子序数的递增而呈周期性变化，这个规律叫作**元素周期律**（periodic law of elements）。元素性质的周期性变化是元素原子核外电子排布周期性变化的必然结果。

元素周期律的发现是 19 世纪化学科学的重要成就之一，它大大加深了人们对物质世界的认识，指导着人们开展诸如预测元素及其化合物的性质、寻找或合成具有特殊性质的新物质等科学研究工作。元素周期律有力地推动着现代科学技术的发展。

拓展视野

人类对元素周期律的认识

人类对元素周期律的认识经历了一个漫长的过程。

自道尔顿（J.Dalton）提出原子论和原子量（现称相对原子质量）概念之后，测定各种元素原子量的工作进展迅速。到 19 世纪中叶，人们已经获得了 60 多种元素的原子量数据。以此为基础，科学家开始研究原子量与元素性质之间的关系。俄国科学家门捷列夫和德国科学家迈尔（J.Meyer）等根据原子量的大小对元素进行分类排列时，发现元素性质随着原子量的递增呈现明显的周期性变化。这就是人们对元素周期律的早期认识。

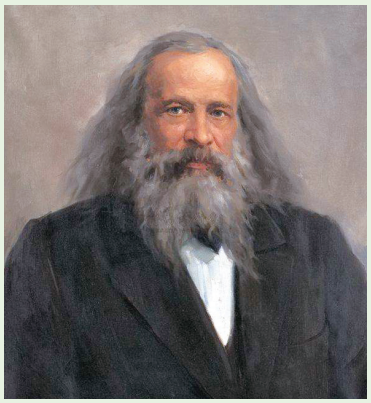


图1-2-2　俄国科学家　门捷列夫（D.Mendeleev，1834—1907）

后来，英国物理学家莫斯莱（H.Moseley）应用 X 射线测定了原子核所带正电荷的数目，指出元素原子的核电荷数是元素的根本特征，原子序数是根据元素原子的核电荷数确定的。这样，元素周期律的确立就有了更科学的基础。

直到 20 世纪 30 年代，科学家弄清了各元素原子的核外电子排布之后，才实现了对元素周期律实质的认识。现在人们已经知道，元素在元素周期表中的位置与原子的核外电子排布密切相关。

二、元素周期表

元素周期律帮助人们认识了看似杂乱无章的化学元素之间的相互联系和内在的变化规律。元素周期表是元素周期律的具体表现形式，是学习和研究化学科学的重要工具。

在元素周期表中，横行称为**周期**（period），纵列称为**族**（group）。

通过元素周期表，我们可以了解某种元素的名称、元素符号、相对原子质量、原子序数等信息。

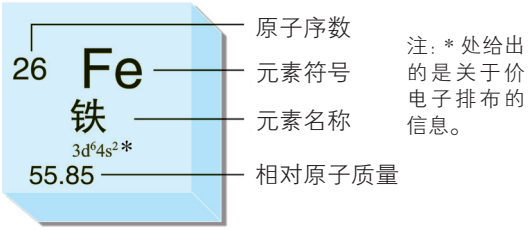


图1-2-3 元素周期表中铁元素的信息

观察 · 思考

认识元素周期表

仔细观察元素周期表（见附录），思考下列问题。

1. 元素周期表共有多少个周期？每个周期各有多少种元素？

2. 以第 2 周期、第 3 周期元素为例分析：元素周期表中，位于同一周期的元素的原子结构有什么相同之处？它们又是怎样递变的？

3. 以第 1 纵列、第 17 纵列元素为例分析：元素周期表中，位于同一纵列的元素的原子结构有什么相同之处？它们又是怎样递变的？

4. 在元素周期表中，找出你熟悉的元素的位置。

5. 关于元素周期表，你还能提出哪些问题？

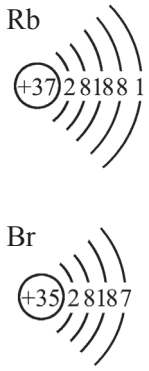


图1-2-4 铷和溴的原子结构示意图

元素周期表共有 7 个横行，也就是 7 个周期。周期的序数就是该周期元素原子核外的电子层数。7 个周期中，1、2、3 周期称为短周期；4、5、6、7 周期称为长周期。2015 年，国际纯粹与应用化学联合会（简称 IUPAC）宣布，确认之前多国科学家陆续合成的新元素分别为元素周期表中的第 113、115、117 和 118 号元素。至此，元素周期表的第 7 周期所有元素均已被发现。而除第 1 周期外，每一周期的元素都是从原子最外层电子数为 1 的元素开始，逐渐过渡到原子最外层电子数为 7 的元素，最后以原子最外层电子数为 8 的稀有气体元素结束。

元素周期表共有 18 个纵列。其中，第 8、9、10 三个纵列为一族，合称为Ⅷ族；第 18 纵列由稀有气体元素组成，稀有气体元素的化学性质不活泼，化合价通常为零，因而这一族称为 0 族；除了第 8、9、10、18 纵列外，其余 14 个纵列每个纵列为一族。族有主族和副族之分：由短周期元素和长周期元素共同组成的族称为主族，符号为 A，序数用罗马数字表示，如 ⅠA、ⅡA、ⅢA 等；仅由长周期元素组成的族称为副族，符号为 B，序数也用罗马数字表示，如 ⅠB、ⅡB、ⅢB 等。位于同一主族的元素的原子最外层电子数相同，而且最外层电子数与族序数相同。同一主族的元素按照电子层数递增的顺序自上而下依次排列。

拓展视野

镧系元素和锕系元素

在元素周期表第 6 周期中，从 57 号元素镧（La）到 71 号元素镥（Lu），原子的最外层和次外层电子层结构以及元素的化学性质十分相似，这 15 种元素总称为镧系元素。类似地，第 7 周期中的 89 号元素锕（Ac）到 103 号元素铹（Lr），这 15 种元素总称为锕系元素。为了使元素周期表的结构紧凑，科学家将镧系元素和锕系元素分别放在第 6 周期和第 7 周期的同一格内，并按原子序数递增的顺序，把它们分两行单独列在元素周期表的下方。

稀土元素

稀土元素是元素周期表中ⅢB 族钪、钇和镧系元素的统称。从 1794 年芬兰人加多林（J.Gadolin）发现钇到 1947 年美国人马林斯基（J.Marinsky）等制得钷，稀土元素陆续被发现，前后历时 150 多年。稀土元素的原子结构相似，离子半径相近，在自然界密切共生。稀土元素的单质都是很活泼的金属，性质极为相似。稀土元素的常见化合价为 +3 价，其水合离子大多有颜色，易形成稳定的配位化合物。稀土金属一般采用电解法制取。

稀土资源是不可再生的重要自然资源，因其独特的物理性质和化学性质，广泛应用于新能源、新材料、节能环保、航空航天、电子信息等领域。

我国是稀土资源较为丰富的国家之一，资源类型较多，探明的储量约占世界总储量的 23%，这为我国稀土工业的发展提供了坚实的基础。

元素在元素周期表中的位置不仅反映了元素的原子结构特点，也显示了与元素性质之间的内在联系。处于同一主族的元素，它们的原子结构相似，使得它们具有相似的化学性质。

例如，ⅡA 族包括铍（Be）、镁（Mg）、钙（Ca）、锶（Sr）、钡（Ba）、镭（Ra）等元素，人们称它们为碱土金属元素（图 1-2-5）。这些元素的原子，最外层都有 2 个电子，容易失去 2 个电子达到稳定结构，因此这些元素性质活泼，在自然界中都以化合态存在。该主族中的每一种金属元素的单质都呈亮白色，而且具有良好的导电性。含钙、锶、钡等元素的物质灼烧时会产生绚丽的颜色，因此含有这些元素的化合物可用于制造焰火。

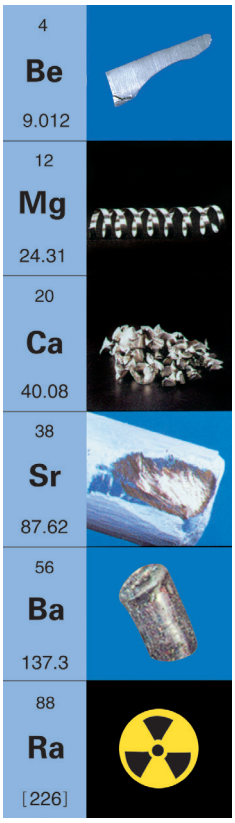


图1-2-5 碱土金属元素及其单质

资料在线

焰色试验

多种金属或其化合物在灼烧时能使火焰呈现特殊的颜色，这在化学上叫作焰色试验，亦称焰色反应。根据焰色试验可以判断某种元素的存在。

表 1-2-1 常见金属元素的焰色

金属元素	锂	钠	钾	钙	锶	钡	铜
焰色	 深红	 黄	 浅紫	 砖红	 洋红	 黄绿	 蓝绿

再如，VA 族包括氮（N）、磷（P）、砷（As）、锑（Sb）、铋（Bi）、镆（Mc）等元素（图 1-2-6），人们又称它们为氮族元素。这些元素原子的最外层都有 5 个电子，

所以它们在最高价氧化物中的化合价为 +5 价。氮族元素中，氮和磷是典型的非金属元素；砷虽然是非金属元素，但已表现出一些金属元素的性质，如单质砷具有金属光泽；锑、铋则是金属元素；115 号元素镆是人工合成的放射性元素。

副族也有类似的情况。元素周期表中第 3 ~ 12 列中的元素称为过渡元素。过渡元素包括了大部分金属元素，如铁、铜、镍、银和金等。大部分过渡元素的单质既坚硬又有光泽，金、铜等单质具有独特的色泽。所有过渡元素的单质都具有良好的导电性。多数过渡元素的单质比较稳定，与空气和水反应缓慢或根本不能反应。例如，古金币虽历经上千年的风雨侵蚀，仍保持着原有的光泽，上面的各种花纹也依然清晰可见。

元素周期表是一个化学知识宝库，它的内涵十分丰富。我们不仅可以从元素周期表中直接获得元素的名称、元素符号、相对原子质量、电子层结构等信息，还可以根据元素在元素周期表中的位置认识其性质以及寻找新元素及其化合物。

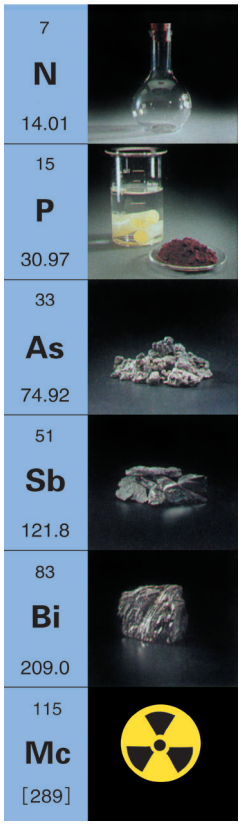


图1-2-6　氮族元素及其单质

历史回眸

形式不同的元素周期表

自 1869 年门捷列夫制作出第一张元素周期表以来，至少已经出现了几百种不同形式的元素周期表。人们根据研究的侧重点的不同，给出了不同形式的元素周期表，例如：

短式元素周期表　元素周期表有短表和长表之分。门捷列夫起初制作的元素周期表是最原始的短式元素周期表。20 世纪前半叶广泛使用的是短表，图 1-2-7 给出的就是一种短式元素周期表。

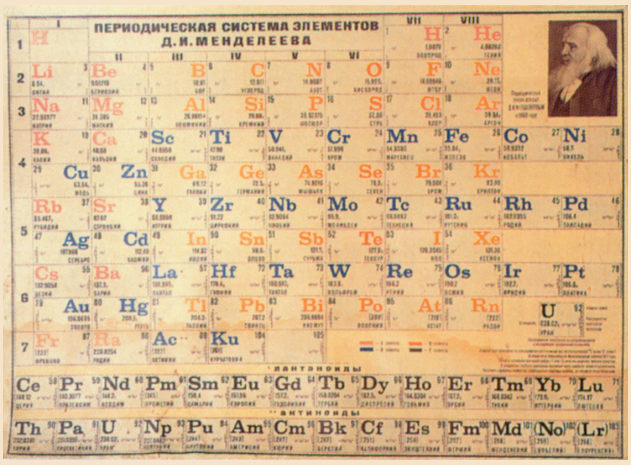


图1-2-7　一种短式元素周期表

长式元素周期表 我们现在经常使用的就是一种长式元素周期表（见附录）。1930 年以后广泛使用的长式元素周期表有很多种形式，图 1-2-8 给出的三角形元素周期表也是一种长式元素周期表，它能直观地展现出元素性质的周期性变化。

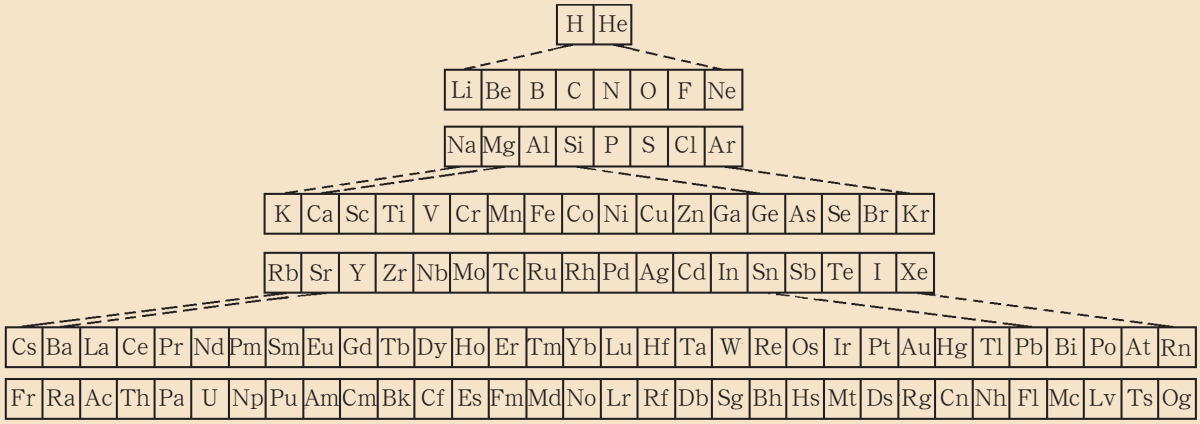


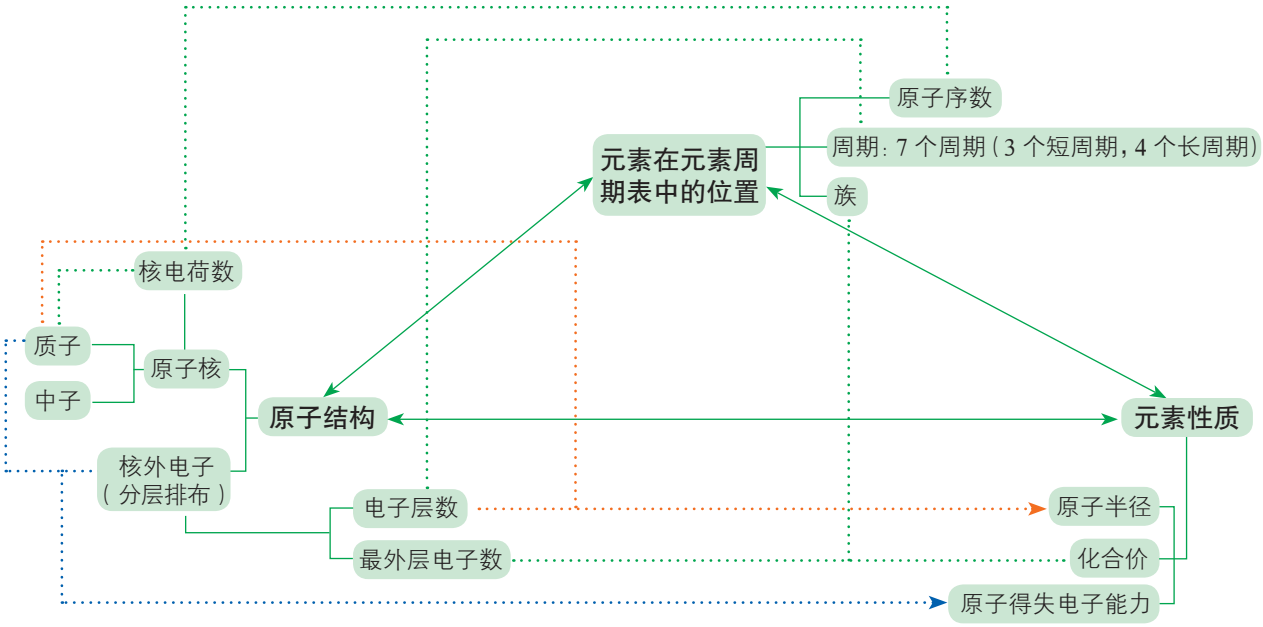
图1-2-8 三角形元素周期表

概括 · 整合

1. 元素周期律揭示了元素之间的联系和内在变化规律。简述元素周期律并说明其实质。

2. 元素周期表是元素周期律的具体表现形式。描述元素周期表的结构并说明同周期、同主族元素的原子结构的特点。

3. 构建原子结构、元素在元素周期表中的位置、元素性质的关系模型，示例如下：



练习与活动

学习 · 理解

1. 下表是元素周期表的一部分，表中所列的每个字母分别代表某一元素。

a																	
													g		j		
b	c											f		i		l	m
			e										h		k		
	d																

（1）表中所列元素中，属于短周期元素的有_____，属于主族元素的有_____，e 元素在元素周期表中的位置是_____周期_____族。

（2）下列_____元素的单质可能都是电的良导体。

A. b、c、i　　B. a、g、k　　C. c、g、l　　D. d、e、f

（3）i 元素属于_____（填“金属”或“非金属”）元素，它的最高化合价是_____，最低化合价是_____。

（4）按原子半径从小到大的顺序排列元素 b、c、f、l，并从原子结构的角度解释这样排序的原因。

2. 请概括元素的原子结构与元素在元素周期表中位置的关系。

应用 · 实践

3. 请利用元素周期律和元素周期表的有关知识回答下列问题。

（1）下列关于元素性质或原子结构递变情况的叙述中，错误的是（　　）。

A. Li、Be、B 原子的最外层电子数依次增多

B. P、S、Cl 元素的最高正化合价依次升高

C. N、O、F 原子的半径依次增大

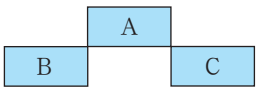
D. Na、K、Rb 原子核外的电子层数依次增多

（2）A 元素原子最外层电子数是次外层电子数的 3 倍，B 元素原子次外层电子数是最外层电子数的 2 倍，则 A、B 元素（　　）。

A. 一定是第 2 周期元素　　B. 一定是同一周期元素

C. 一定分别位于第 2、3 周期　　D. 可以相互化合形成化合物

（3）短周期元素 A、B、C 在元素周期表中的位置如图所示。已知 B、C 两元素的原子序数之和是 A 元素的原子序数的 4 倍，则 A、B、C 分别是（　　）。



第3（3）题图

A. Be、Na、Al　　B. B、Mg、Si

C. O、P、Cl　　D. C、Al、P

（4）X、Y、Z 是相邻的三种短周期元素，X 和 Y 同周期，Y 和 Z 同主族，三种元素原子的最外层电子数之和为 17，核内质子数之和为 31，则 X、Y、Z 分别是（　　）。

A. Mg、Al、Si　　B. Li、Be、Mg

C. N、O、S　　D. P、S、O

4. A、B、C、D 四种元素的核电荷数依次增大，它们的离子的电子层数相同且最外层电子数均为 8。A 原子的 L 层电子数与 K、M 层电子数之和相等，D 原子的 K、L 层电子数之和等于电子总数的一半。请据此回答下列问题。

（1）请写出四种元素的符号：

A_____，B_____，C_____，D_____。

它们的原子半径由大到小的顺序是_____。

（2）请画出四种元素的离子结构示意图：

A_____，B_____，C_____，D_____。

它们的离子半径由大到小的顺序是_____，请从离子结构的角度进行解释：_____。

第 3 节　元素周期表的应用

元素周期律的发现和元素周期表的诞生，开创了化学科学的新纪元。从此，人们对丰富多彩的物质世界的认识更加系统。利用元素周期表，人们不仅可以系统地总结已有的元素及其化合物知识，而且可以结合原子结构的知识研究元素及其化合物性质的递变规律，并在此基础上预测未被发现的新物质的性质，继而把它们合成出来并加以应用。

联想 · 质疑

门捷列夫在批判地继承前人工作的基础上，对大量实验事实进行了订正、分析和概括，总结出元素周期律。

门捷列夫根据元素周期律编制了第一张元素周期表，把当时已经发现的 63 种元素全部列入表中，从而初步完成了使元素系统化的任务。他还在表中留下空位，预言了类似硼、铝、硅的未知元素（门捷列夫分别称它们为“类硼”“类铝”和“类硅”，即后来发现的钪、镓、锗）的性质，并指出当时测定的某些元素原子量的数值有错误。若干年后，他的预言都得到了证实。

你知道门捷列夫是如何作出如此准确的预测的吗？你知道元素周期表中元素的性质呈现怎样的变化规律吗？

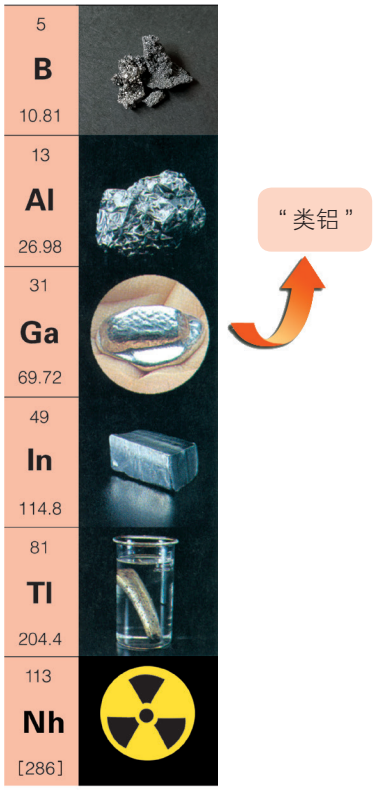


图1-3-1　“类铝”——镓位于ⅢA族

一、认识同周期元素性质的递变规律

元素周期表是元素周期律的具体表现形式，那么，元素周期表是怎样体现元素的性质随着原子序数的递增而呈周期性变化的呢？现以第 3 周期元素为例，研究元素原子失电子能力或得电子能力的变化规律。

活动 · 探究

学生必做实验

第3周期元素原子得失电子能力的比较

第 3 周期包括钠（Na）、镁（Mg）、铝（Al）、硅（Si）、磷（P）、硫（S）、氯（Cl）、氩（Ar）八种元素，请运用实验探究、查阅资料等方法认识这些元素原子失电子能力或得电子能力的相对强弱。

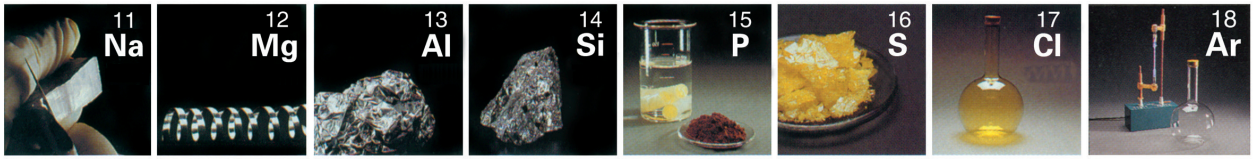


图1-3-2 第3周期元素及其单质

交流研讨

1. 第 3 周期元素的原子结构有什么特点？

2. 第 3 周期元素原子失电子能力或得电子能力，按照原子序数递增的顺序如何变化？为什么？

实验探究

实验目的：比较钠、镁、铝三种元素原子失电子能力的相对强弱。

实验用品：金属钠（切成小块），表面积相同的镁条和铝条，稀盐酸，NaOH 溶液，$MgCl_2$ 溶液，$AlCl_3$ 溶液，蒸馏水；

烧杯，试管，表面皿，酒精灯，试管夹，小刀，镊子，玻璃片，滤纸等。

实验方案设计及实施：

实验目的	实验内容	实验现象	实验结论
比较氢氧化镁、氢氧化铝碱性的强弱			
比较镁、铝单质与酸反应置换出氢气的难易程度			

安全提示

- 实验时应佩戴护目镜。
- 取用金属钠时，用镊子取出一小块，用滤纸吸干表面的煤油，将其放在玻璃片上，用小刀切下绿豆粒大小使用。
- 有金属钠参与的反应，须在烧杯中进行。将金属钠放入盛有试剂的烧杯后，应立即盖上表面皿。

方法导引

通过最高价氧化物对应水化物的碱性比较元素原子的失电子能力

一般来说，一种元素最高价氧化物对应水化物的碱性越强，表明这种元素原子失电子的能力越强。

阅读探究

请阅读以下材料，从中获取证据，验证你对硅、磷、硫、氯等元素原子得电子能力相对强弱的预测。

硅的最高价氧化物（SiO_2）对应的水化物是硅酸（H_2SiO_3）。硅酸难溶于水，是一种很弱的酸。

磷的最高价氧化物（P_2O_5）对应的水化物是磷酸（H_3PO_4）。磷酸属于中强酸。磷蒸气与氢气能反应生成气态氢化物——磷化氢（PH_3）。

硫的最高价氧化物（SO_3）对应的水化物是硫酸（H_2SO_4）。硫酸是一种强酸。硫在加热时能与氢气反应生成气态氢化物——硫化氢（H_2S）。硫化氢在较高温度时可以分解。

氯的最高价氧化物（Cl_2O_7）对应的水化物是高氯酸（$HClO_4$）。高氯酸的酸性比硫酸强。氯气与氢气能在光照或点燃的条件下反应生成稳定的气态氢化物——氯化氢。

思考：你对以上四种非金属元素原子得电子能力相对强弱的预测正确吗？你是如何证实你的预测的？

方法导引

通过单质与氢气的反应、最高价氧化物对应水化物的酸性比较元素原子的得电子能力

利用有关物质的性质来判断元素原子得电子能力的强弱时，可以采用下列方法：

1. 比较元素的单质与氢气化合的难易程度，以及所生成的气态氢化物的稳定性。一般来说，反应越容易进行，生成的气态氢化物越稳定，表明元素原子得电子的能力越强。

2. 比较元素最高价氧化物对应水化物的酸性。一般来说，一种元素最高价氧化物对应水化物的酸性越强，表明这种元素原子得电子的能力越强。

实验表明，氢氧化镁只能与盐酸反应；而氢氧化铝既能与盐酸反应，又能与 NaOH 溶液反应，表现出两性，显然其碱性要比氢氧化镁弱。

$$Al(OH)_3 + 3HCl = AlCl_3 + 3H_2O$$

$$Al(OH)_3 + 3H^+ = Al^{3+} + 3H_2O$$

$$Al(OH)_3 + NaOH = Na[Al(OH)_4]$$

四羟基合铝酸钠

$$Al(OH)_3 + OH^- = [Al(OH)_4]^-$$

四羟基合铝酸根

$Na[Al(OH)_4]$ 相当于一种盐。$Al(OH)_3$ 和 NaOH 溶液反应生成的化合物曾被认为是 $NaAlO_2$，但科学研究证明该产物实际上是 $Na[Al(OH)_4]$，属于配位化合物。

在第 3 周期中，从钠到氯，各元素原子的核外电子层数相同，核电荷数依次增多，原子半径逐渐减小，元素原子的失电子能力逐渐减弱、得电子能力逐渐增强。而氩为稀有气体元素，性质十分稳定，其原子既不易得电子也不易失电子。

对其他周期元素进行同样的研究，也能得到类似的结论。例如，从锂（Li）到氖（Ne），随着原子序数的递增，由活泼的金属元素（Li）逐渐过渡到不太活泼的金属元素，再过渡到非金属元素（N、O、F 等），最后是稀有气体元素——氖（Ne）。

其实，金属元素、非金属元素之间并没有严格的界限，元素周期表中位于金属元素与非金属元素交界处附近的元素，既能表现出一定的金属元素的性质，又能表现出一定的非金属元素的性质。例如，硅元素属于非金属元素，锗元素属于金属元素，但它们的单质均具有半导体的性质。

在同一周期的主族元素中，各元素原子的核外电子层数相同，但从左到右核电荷数依次增多，原子半径逐渐减小，元素原子的失电子能力逐渐减弱、得电子能力逐渐增强。元素周期表清楚地体现了元素的性质随着原子序数递增呈现的周期性变化。

二、研究同主族元素的性质

元素在元素周期表中的位置反映了该元素原子结构的特点以及由此决定的元素的性质，因此可以根据某元素在元素周期表中的位置推测它的原子结构和有关性质。

交流 · 研讨

1. 在元素周期表中，同主族元素原子的核外电子排布有什么特点？请你以 IA 族金属元素和ⅦA 族元素为例，推测同主族元素性质的相似性和递变性。

2. 尝试利用学过的元素及其化合物的知识为你的推测寻找证据。

在元素周期表中，位于同一主族的元素原子的最外层电子数相同，因此同主族元素具有相似的性质。例如，ⅠA 族中的金属元素锂（Li）、钠（Na）、钾（K）、铷（Rb）、铯（Cs）、钫（Fr）等称为碱金属元素（图 1-3-3）。碱金属元素具有相似的性质，原子的最外层都只有 1 个电子，元素的最高化合价为 +1 价；元素原子的失电子能力强，是活泼的金属元素。又如，ⅦA 族元素氟（F）、氯（Cl）、溴（Br）、碘（I）等称为卤族元素。卤族元素原子的最外层都有 7 个电子，元素的最高化合价为 +7 价（F 除外），最低化合价为 -1 价；元素原子的得电子能力强，是活泼的非金属元素。

同主族元素原子的核电荷数、电子层数不同，导致它们的性质有所差异。同主族元素原子从上到下，核外电子层数依次增多，原子半径逐渐增大，元素原子的失电子能力逐渐增强、得电子能力逐渐减弱。

同主族元素原子结构的相似性，决定着它们的单质和某些同类化合物表现出相似的性质；其原子结构的差异性，又决定着它们的单质和某些同类化合物的性质有一定的差异，且自上而下随着元素核电荷数的增加而递变。例如，碱金属元素的单质都能与氧气、水等物质发生反应，碱金属元素最高价氧化物对应的水化物一般具有很强的碱性；但是，金属锂与氧气反应不如金属钠与氧气反应剧烈，而金属铷和铯遇到空气会立即燃烧，遇水还可能发生爆炸。又如，从氟到碘，单质的氧化性逐渐减弱，单质与氢气发生的化合反应越来越难进行：氟气与氢气在暗处能剧烈化合并发生爆炸，生成的氟化氢很稳定；氯气与氢气在光照或点燃条件下能发生反应，生成的氯化氢较稳定；溴蒸气与氢气加热至一定温度时才能反应，生成的溴化氢不如氯化氢稳定；碘与氢气在不断加热的情况下才能缓慢反应，生成的碘化氢不稳定，在同一条件下同时分解为碘和氢气。

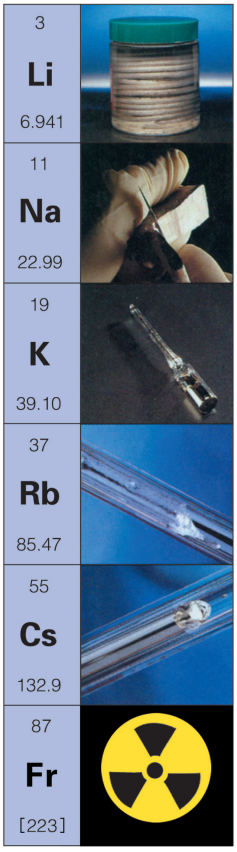


图1-3-3　碱金属元素及其单质

图1-3-4　氯、溴、碘元素及其单质

活动 · 探究

学生必做实验

探究卤族元素性质的相似性和递变性

请你分析卤族元素性质的相似性和递变性，并选取典型代表物验证你的预测。

实验目的

分别以卤族元素单质和卤化物为典型代表物设计实验，验证你对卤族元素性质的相似性和递变性的预测。

实验用品

NaCl 溶液，NaBr 溶液，KI 溶液，氯水，溴水，碘水，淀粉溶液，四氯化碳；

烧杯，试管，胶头滴管。

实验方案设计及实施

物质	预测及其依据	实验方案	实验现象	实验结论

方法导引

检验溴单质、碘单质的一种方法

溴单质、碘单质在四氯化碳中的溶解度均大于它们在水中的溶解度。利用这一性质，可以向含有溴单质、碘单质的水溶液中加入四氯化碳，分别将它们从水溶液中提取出来。四氯化碳难溶于水，且溴单质和碘单质在四氯化碳中分别呈橙色和紫色，可以利用这一方法，检验水溶液中溴单质或碘单质的存在。

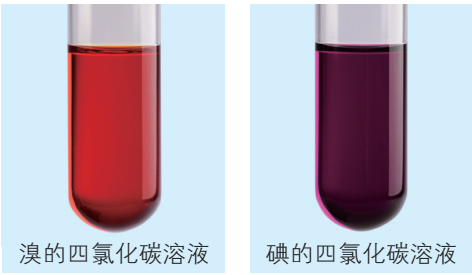


图1-3-5 溴和碘在四氯化碳中的颜色

思考

1. 除了上述实验外，还可以找到哪些证据说明卤族元素性质的相似性和递变性？
2. 学习了元素周期律和元素周期表后，在分析物质的化学性质时你有了哪些新角度？

资料在线

碱金属、卤族元素单质的物理性质

碱金属单质和卤族元素单质在物理性质上均分别表现出一些相似性和递变规律。例如，除铯外，其余的碱金属单质都呈银白色；它们都比较软、有延展性、密度比较小、导热性和导电性较好；从锂到铯单质的熔点、沸点逐渐降低。又如，从氟到碘，卤族元素单质的颜色逐渐变深，熔点、沸点逐渐升高。

表 1-3-1　碱金属单质的主要物理性质

碱金属单质	颜色和状态	熔点/℃	沸点/℃
Li	银白色固体	180.5	1 341
Na	银白色固体	97.82	881.4
K	银白色固体	63.38	759
Rb	银白色固体	39.31	691
Cs	略带金色光泽固体	28.44	668.2

表 1-3-2　卤族元素单质的主要物理性质

卤族元素单质	颜色和状态	熔点/℃	沸点/℃
F_2	淡黄绿色气体	−219.6	−188.1
Cl_2	黄绿色气体	−101.5	−34.04
Br_2	深红棕色液体	−7.25	58.8
I_2	紫黑色固体	113.6	185.2

由以上分析可以得知，同一周期或同一主族的元素，它们的性质总是呈现规律性变化。

身边的化学

金属材料

金属材料是指金属元素或以金属元素为主构成的具有金属特性的材料的统称，包括纯金属、合金和特种金属材料等。

金属材料通常分为黑色金属、有色金属和特种金属材料。

黑色金属又称钢铁材料，包括工业纯铁、铸铁、碳钢，以及各种用途的结构钢、不锈钢、耐热钢、高温合金、精密合金等。广义上的黑色金属还包括铬、锰及其合金。

有色金属指除铁、铬、锰以外的所有金属及其合金，通常分为轻金属、重金属、贵金属、半金属、稀有金属和稀土金属等。

特种金属材料包括不同用途的结构金属材料和功能金属材料，如非晶态金属材料，准晶、微晶、纳米晶金属材料，具有隐身、抗氢、超导、形状记忆、耐磨、减振阻尼等特殊功能的合金，以及金属基复合材料等。

人类文明的发展和人类社会的进步与金属材料关系密切。石器时代之后出现的铜器时代、铁器时代都以金属材料及其应用为其显著的特征。现在，品种繁多、功能各异的金属材料更是成为世界各国经济社会发展的重要物质基础。

三、预测元素及其化合物的性质

在元素周期表中，有许多我们陌生的元素，我们可以基于对已知元素的认识，利用元素周期律以及对已知元素及其化合物性质的研究思路和方法，研究陌生元素及其化合物的性质。

交流 · 研讨

硅在地壳中的含量仅次于氧，硅的氧化物及硅酸盐构成了地壳中大部分的岩石、沙子和土壤。计算机芯片、光导纤维、玻璃仪器等，都是以硅或硅的化合物为材料制成的。

1. 比较碳、硅、磷元素的性质。

2. 硅及其化合物有哪些？尝试写出它们的化学式。

3. 请预测硅及其化合物的化学性质，并说明预测依据。

图1-3-6 硅及其化合物的存在与应用

可以从元素在元素周期表中的位置、原子结构、元素性质三个角度认识元素。

硅及其化合物的化学式	化学性质预测	预测依据
H_2SiO_3	具有酸的性质，能与碱（如 NaOH 溶液）反应，但酸性较弱，弱于碳酸、磷酸等	

元素的性质通常包括元素化合价、原子半径、元素原子的得失电子能力等，可以根据元素原子结构的特点和元素在元素周期表中的位置认识元素的性质。例如，硅原子的最外层有 4 个电子，最高化合价为 +4 价，最低化合价为 −4 价，硅属于非金属元素；与同周期磷元素的原子相比，其核电荷数较小、原子半径较大、原子核对最外层电子的吸引作用较弱，因此硅元素原子的得电子能力较弱。

从物质类别、元素化合价、物质所含有关元素在元素周期表中的位置的角度可以认识有关物质的化学性质。例如，硅元素（原子序数为 14）位于元素周期表中第 3 周期ⅣA 族，属于非金属元素；二氧化硅（SiO_2）属于酸性氧化物，能与碱溶液缓慢反应，高温时能与碱性氧化物反应；二氧化硅中硅元素的化合价为 +4 价，因此二氧化硅具有氧化性，能与某些还原剂反应；硅酸（H_2SiO_3）的酸性弱于碳酸，硅酸可以由硅酸钠（Na_2SiO_3）与盐酸、硫酸等反应制得。此外，二氧化硅还具有一些特殊的性质。例如，二氧化硅虽然属于酸性氧化物，但能与氢氟酸反应，该反应曾用于刻蚀玻璃。

身边的化学

硅及其化合物与非金属材料

硅与半导体材料　半导体材料特指导电能力介于导体和绝缘体之间的一类材料。硅是常温下化学性质稳定的半导体材料，主要用于制造芯片和太阳能电池。自然界中没有游离态的硅。工业上，用焦炭在电炉中还原二氧化硅得到含有少量杂质的粗硅；将粗硅提纯后，可以得到用作半导体材料的高纯硅。

图1-3-7　单质硅

二氧化硅与光导纤维　二氧化硅广泛存在于自然界中，沙子、石英和水晶的主要成分都是二氧化硅。二氧化硅常被用来制造高性能的现代通信材料——光导纤维（简称“光纤”）。光纤通信克服了声音信号和图像信号在铜丝或铝丝媒介中传播损耗大的缺点，并节约了大量金属资源。光纤除了用于通信外，还用于能量传输、信息处理、遥测遥控和医疗器械（如光导纤维内窥镜）制造等方面。

图1-3-8　水晶

硅酸盐与无机非金属材料　硅酸盐是由硅元素、氧元素和金属元素组成的化合物的总称，在自然界分布极广。硅酸盐材料（如陶瓷、玻璃、水泥等）是无机非金属材料的主要分支之一，有着悠久的历史。陶瓷材料是人类应用最早的硅酸盐材料。玻璃的种类很多，除普通玻璃外还有铅玻璃、有色玻璃、钢化玻璃等。制造普通玻璃的主要原料是纯碱、石灰石和石英。水泥是非常重要的建筑材料。普通水泥的主要成分是硅酸三钙（$3CaO \cdot SiO_2$）、硅酸二钙（$2CaO \cdot SiO_2$）、铝酸三钙（$3CaO \cdot Al_2O_3$）等。随着信息科学、能源技术、航天技术、生物工程等现代科学技术的发展，一些具有特殊结构、特殊功能的新型无机非金属材料，如高温结构陶瓷、生物陶瓷和压电陶瓷等，相继被研制出来。

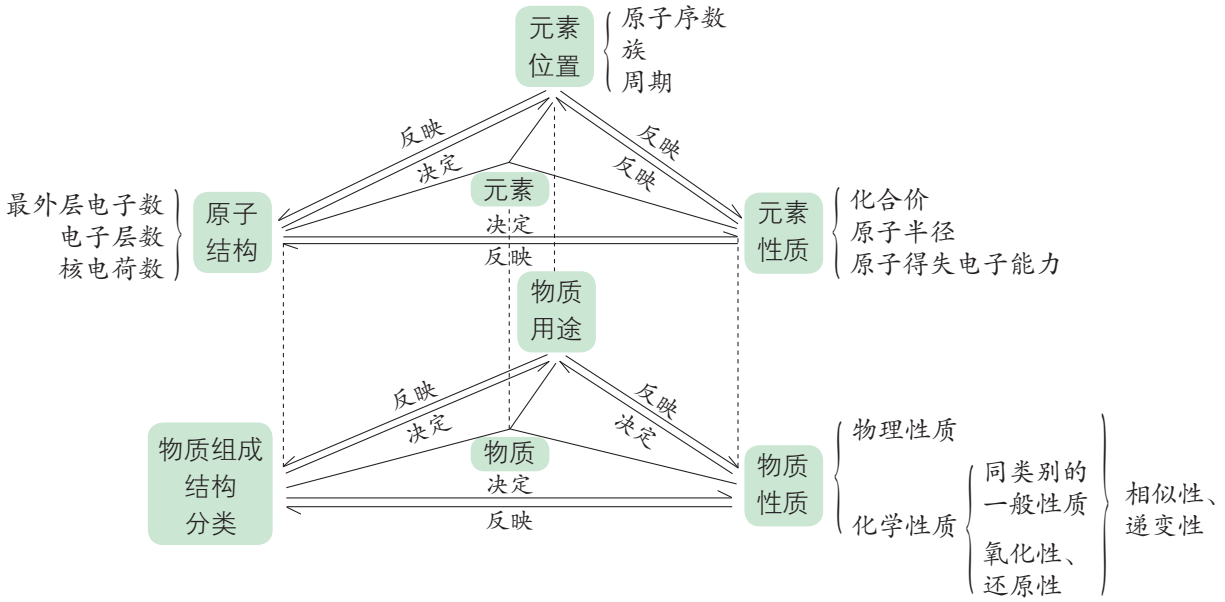
元素周期表已成为化学家的得力工具，为研究物质结构、发现新元素、合成新物质、寻找新材料提供了许多有价值的指导。例如，根据在元素周期表中位置相近的元素具有相似的性质这一规律，人们不但在金属元素和非金属元素的交界处寻找半导体材料，还在过渡元素中寻找优良的催化剂。又如，位于元素周期表中ⅣB 族到ⅥB 族的过渡元素的单质，如钛（Ti）、钽（Ta）、钼（Mo）、钨（W）等，大多具有耐高温、耐腐蚀等特点，人们常利用以它们为原料制成的特种合金来制造火箭、导弹、宇宙飞船等。此外，人们还利用元素周期表寻找合适的超导材料、磁性材料等。

图1-3-9 钛合金用于制造飞机

概括·整合

1. 归纳总结元素的原子结构、元素在元素周期表中的位置、元素性质、物质性质之间的关系。

2. 构建原子结构、元素在元素周期表中的位置、元素性质、物质性质的关系模型，示例如下：



练习与活动

学习·理解

1. X、Y 是元素周期表ⅦA 族中的两种元素。下列说法中，能说明 X 原子的得电子能力比 Y 强的是（　　）。

A. X 原子的电子层数比 Y 原子的电子层数多

B. X 的单质的颜色比 Y 的浅

C. X 的气态氢化物比 Y 的气态氢化物稳定

D. Y 的单质能将 X 从 NaX 的溶液中置换出来

2. 在元素周期表中找到硫元素，按照下列要求回顾、梳理你对硫元素的相关认识，并与同学们交流分享。

（1）写出能想到的关于硫及其化合物的相关信息。

（2）梳理认识硫及其化合物的基本角度。

（3）用图示的方法表示对硫元素的有关认识。

（4）在与同学们交流研讨的过程中，不断丰富、完善关于硫及其化合物的知识网络，概括认识元素及其化合物性质的基本角度。

应用·实践

3. 已知 X、Y、Z 为三种原子序数相邻的元素，最高价氧化物对应水化物的酸性相对强弱是 $HXO_4 > H_2YO_4 > H_3ZO_4$。下列说法中，不正确的是（　　）。

A. 气态氢化物的稳定性：X＞Y＞Z

B. 原子的得电子能力：Y＜X＜Z

C. 单质的氧化性：X＞Y＞Z

D. 三种元素原子的最外层电子数相等

4. 下列各选项中，微粒按氧化性由弱到强、原子或离子半径由大到小的顺序排列的是（　　）。

A. O、Cl、S、P

B. K^+、Al^{3+}、Ca^{2+}、Ba^{2+}

C. Rb、K、Na、Li

D. K^+、Mg^{2+}、Al^{3+}、H^+

5. 已知 X、Y、Z、W 均为元素周期表中的短周期元素，它们具有如下特征：

元素	特征
X	在元素周期表中，原子半径最小
Y	常温下，有 Y_2、Y_3 型两种气体单质存在
Z	其原子内层电子数与最外层电子数之比为 10∶1
W	最高化合价为 +6 价

（1）W 的元素符号是_____，其原子结构示意图为_____。

（2）四种元素中，原子半径最大的是_____（填元素符号）。

（3）Y 元素原子的得电子能力_____（填“强”或“弱”）于 W，请用原子结构的知识解释其原因：_____。

（4）将 WY_2 通入 $BaCl_2$ 溶液中，没有明显变化，再向其中加入 Z 元素最高价氧化物对应的水化物，可观察到的现象是_____，所发生反应的离子方程式是_____。

6. 请利用元素周期表的有关知识，判断下列对于铍及其化合物的性质的推测是否正确，并说明理由。

（1）铍元素的原子半径大于硼元素的原子半径。

（2）相同条件下，单质铍与酸的反应比单质锂与酸的反应剧烈。

（3）氢氧化铍的碱性比氢氧化钙的碱性弱。

（4）单质铍能与冷水剧烈反应。

微项目

海带提碘与海水提溴

——体验元素性质递变规律的实际应用

项目学习目标

- 通过海带提碘活动和海水提溴工艺流程的设计，建立真实复杂系统中物质富集、分离、提取的基本思路。
- 通过海带提碘活动和海水提溴工艺流程的设计，体会元素周期律、元素周期表在分析、解决实际问题中的价值。

浩瀚的海洋里蕴藏着丰富的化学资源。我国大陆海岸线长达 18 000 km，海岛海岸线长达 14 000 km，这为我国开发利用海洋化学资源提供了良好的自然条件。目前，我国利用海洋资源获取钾、镁、溴、氯、碘等元素已形成规模。

在本项目活动中，你将在前面学习的有关元素及其化合物性质的基础上，结合元素周期律、元素周期表的相关知识，尝试从海带中提取碘单质，并设计从海水中提取溴单质的工艺流程。

项目活动 1　海带提碘

海带、紫菜等藻类植物中含有丰富的碘元素。其中，海带产量高、价格低，常用作提取碘单质的原料。碘元素在海带中以碘化物的形式存在。灼烧干海带可以分解除去其中的有机化合物。灼烧后得到的海带灰中，除了存在可溶性碘化物外，还存在多种可溶性无机盐。

请以海带灰为原料，提取碘单质。

图1-4-1　碘单质

思考

1. 为了将 I^- 转化为 I_2，可以选用哪些化学试剂？选择的依据是什么？如何检验碘单质的存在？

2. 请设计实验方案，并运用流程图表示从海带灰中提取碘单质得到含碘单质的溶液的实验流程。

实验方案设计及实施

实验步骤	实验现象	实验结论

方法导引

萃取与分液

利用某种溶质在两种互不相溶的溶剂里溶解能力的不同，用一种溶剂（萃取剂）将其从原溶剂中提取出来的方法叫作萃取。萃取后，可以用分液漏斗将上述两种液体分开，从而达到提取某物质的目的。

（1）加萃取剂　（2）振荡萃取　（3）静置分层　（4）分液

图1-4-2　萃取分液操作示意图

讨论

1. 你在实验过程中遇到了哪些问题？这些问题是否得到了解决？如果得到了解决，是如何解决的？

2. 如果将你设计的方案应用于工业生产，你认为其优势和不足各是什么？

3. 在你设计的方案中，实现物质分离、提纯的基本思路是什么？实验时需要注意的问题有哪些？

实验室里，从海带灰中提取碘单质包括浸取、过滤、氧化、萃取四个步骤。其中，将碘离子氧化为碘单质是提取的关键步骤，所选择的氧化剂的氧化性应强于碘单质，因此氧化剂的选择是实验设计的重点之一。由元素周期表中元素性质的递变规律可知，氯水、溴水均可用作提取碘单质的氧化剂。

物质分离和提纯是化学实验、化工生产的一项重要任务。分离和提纯物质最常用的方法有过滤法、萃取法、升华法、化学转化法等。

利用化学转化法可以直接除去某些物质，也可以通过化学转化法实现物质的分离和提纯。为了将物质完全除去或转化，通常需要加入过量的除杂或转化试剂；同时，为了保证目标物的纯度，还需要考虑如何将过量的试剂除去以及如何将目标物从体系中提取出来。

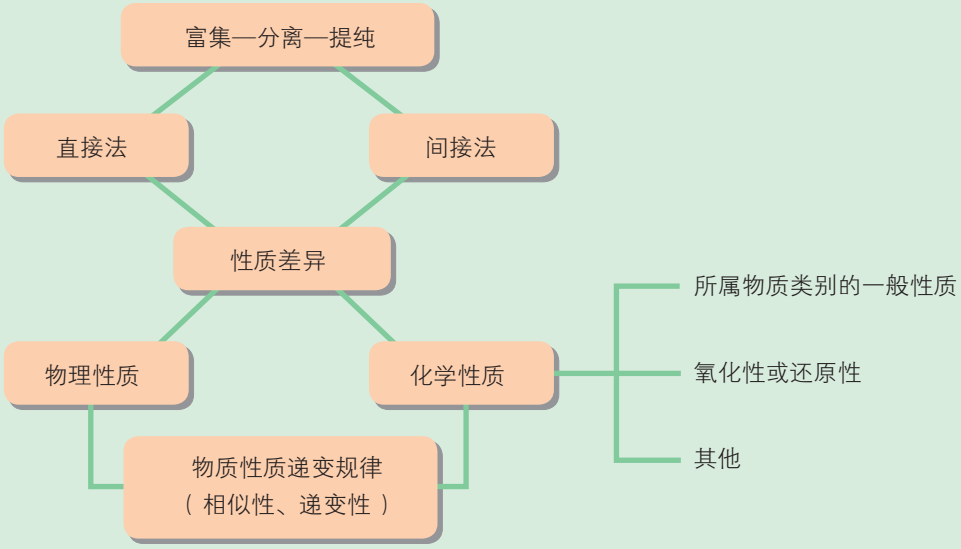
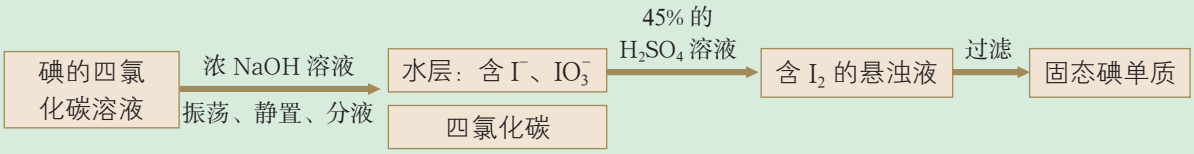


图1-4-3　物质分离提纯的基本思路

拓展视野

用反萃取法将碘单质从碘的四氯化碳溶液中提取出来

在“海带提碘”的实验中，通常以四氯化碳为萃取剂对碘单质进行萃取、富集。那么，如何将碘单质从碘的四氯化碳溶液中提取出来呢？要解决这一问题，可以采用反萃取法，具体步骤如下：



碘单质与浓 NaOH 溶液发生的反应为：

$$3I_2 + 6NaOH = 5NaI + NaIO_3 + 3H_2O$$

像这种将富集在四氯化碳中的碘单质利用化学转化法重新富集在水中的方法即为反萃取法。

项目活动 2 海水提溴

溴是海水中重要的非金属元素。地球上 99% 的溴元素以 Br^- 的形式存在于海水中，所以人们也把溴称为“海洋元素”。目前，从海水中提取的溴占世界溴年产量的 1/3 左右。苦卤（海水晒盐后得到的母液）是海水制盐业的副产物，其中含有高浓度的 K^+、Mg^{2+}、Br^- 和 SO_4^{2-} 等，是从海水中提取溴的主要原料。

设计

请用流程图表示你设计的从苦卤中提取溴单质的实验方案。

讨论

1. 空气吹出法是目前用于从天然海水中提取溴的最成熟的工业方法。将海水酸化后，用氯气将 Br^- 氧化为溴单质；继而通入空气和水蒸气，将溴单质吹入吸收塔中，使溴蒸气与吸收剂 SO_2 和水发生反应，将溴蒸气转化成氢溴酸；最后用氯气将其氧化得到溴单质。请比较你设计的提取溴单质的实验方案与利用空气吹出法提取溴单质方法的异同。

图1-4-4 溴单质

溴单质在常温、常压下是有挥发性的深红棕色液体，有刺激性气味；可溶于水，易溶于乙醇、四氯化碳等。

2. 工业上常利用电解饱和食盐水的方法制取氯气，本项目利用氧化剂来制取碘单质和溴单质。请运用元素周期律的知识解释采用不同方法制取氯、溴、碘单质的原因。

从海水中提取溴，一般要经历浓缩、氧化和提取三个步骤。海水中 Br^- 的含量一般为 $0.067\ g \cdot L^{-1}$，而苦卤中 Br^- 的含量要大得多，因而苦卤常作为提取溴单质的原料。溴单质的氧化性介于氯气和碘单质的氧化性之间。因此，在海水提溴的化工生产中，常选氯气作为氧化剂。向苦卤中通入氯气，可将 Br^- 氧化为溴单质。

$$2Br^- + Cl_2 = Br_2 + 2Cl^-$$

海洋是一个巨大的化学资源宝库，但由于开发技术比较复杂、生产成本较高，很多元素难以直接提取。不过，科学家在这个领域的探索从未停止过。我国将建设海洋强国，落实海洋可持续发展目标，高度重视海洋生态文明建设，加强海洋环境污染防治，保护海洋生物多样性，实现海洋资源有序开发利用。

项目成果展示

1. 完善自己设计的“海带提碘”和“海水提溴”的流程图和方案，展示交流。

2. 提炼、概括物质分离和提纯的基本思路；以小组为单位，交流、分享对元素周期律、元素周期表在物质分离和提纯中应用价值的体会。

本章自我评价

本章通过对原子结构、元素周期律和元素周期表的学习，继续发展“变化观念与平衡思想”中的“变化观念”和“科学态度与社会责任”，重点促进“宏观辨识与微观探析”“证据推理与模型认知”和“科学探究与创新意识”等方面化学学科核心素养的发展。请依据下表检查对本章的学习情况。

核心素养发展重点		学业要求
宏观辨识与微观探析	深化对原子结构的认识，建立原子结构与元素性质、元素性质与物质性质之间的关系，从物质的微观结构说明同类物质具有相似性质的原因，解释同类物质的性质变化规律。	1. 能画出 1 ~ 20 号元素的原子结构示意图。能用原子结构知识解释元素性质及其递变规律，并能结合实验及事实进行说明。 2. 能利用元素在元素周期表中的位置和原子结构特征，分析、预测、比较元素及其化合物的性质。 3. 能结合有关资料说明元素周期表对合成新物质、寻找新材料的指导作用。 4. 能列举化学科学发展的重要事件，说明其对推动社会发展的贡献，能说出其中的创新点。 5. 具有较强的问题意识，能提出化学探究问题，能作出预测和假设。能依据实验目的和假设，设计解决简单问题的实验方案，能对实验方案进行评价。能观察并如实记录实验现象和数据，进行分析和推理，得出合理的结论。 6. 能从化学的角度分析从资源到产品的转化途径，能对资源的开发利用进行评价。
证据推理与模型认知	构建“位”“构”“性”关系认识模型；发展对元素及其化合物化学性质的认识模型，从“各类物质的一般性质—氧化性和还原性”二维模型发展到“各类物质的一般性质—氧化性和还原性—相似性和递变性”三维模型。	
科学探究与创新意识	形成实验探究元素性质递变规律、比较物质性质的思路方法，发展物质分离提纯实验的设计与实施能力，提高基于理论进行预测、提出假设的能力和基于实验事实概括、推理得出结论的能力。	

学习·理解

1. 1956 年，美籍华人科学家吴健雄用 $^{60}_{27}Co$ 放射源进行实验验证了杨振宁和李政道的重要发现（此发现于 1957 年获得诺贝尔物理学奖）。$^{60}_{27}Co$ 的衰变方程为：

$$^{60}_{27}Co = \!\!= {}^{A}_{Z}Ni + {}^{0}_{-1}e^{-} + \bar{\upsilon}_e$$

其中，$\bar{\upsilon}_e$ 是反中微子，它的电荷数为 0，静止质量可认为是 0。

（1）下列关于 $^{60}_{27}Co$ 的说法中，错误的是（　　）。

A. 质子数是 27　　B. 电子数是 27　　C. 质量数是 27　　D. 中子数是 60

（2）在上述衰变方程中，衰变产物 Ni 的质量数 A 为_____，核电荷数 Z 为_____。

2. 已知下列八种化学符号：

$^{1}_{1}H_2$　$^{2}_{1}H_2$　$^{14}_{6}C$　$^{6}_{3}Li$　$^{23}_{11}Na$　$^{14}_{7}N$　$^{7}_{3}Li$　$^{24}_{12}Mg$

（1）其中，表示核素的符号共_____种。

（2）所表示的核素中，互为同位素的是_____和_____。

（3）所表示的核素中，质量数相等但不能互称同位素的是_____和_____。

3. 请回答下列问题。

（1）下列叙述中，正确的是（　　）。

A. 同周期元素中，ⅦA 族元素的原子半径最大

B. ⅥA 族元素的原子，其原子半径越大，越容易得到电子

C. 常温时，0 族元素的单质都是气体

D. 在元素周期表中，从ⅢB 族到ⅡB 族 10 个纵列的元素都是金属元素

（2）请利用原子结构知识对下列结论进行说明和论证。

结论 1：同周期的主族元素，从左到右，元素原子失电子能力越来越弱。

结论 2：碱金属元素，从上到下，元素原子失电子能力越来越强。

4. 元素周期律和元素周期表对深入认识物质的性质具有重要的作用，有利于将零散的元素及其化合物的知识整合起来形成知识网络。通过本章的学习，你是否对学习过的元素及其化合物的知识进行了整合？请尝试用图示的方式进行总结，并与同学们交流分享，示例如下：

李明打开元素周期表，看到元素符号“N”，便按照以下思路回顾和整理了关于氮元素的相关知识。

（1）氮元素的原子结构示意图、元素符号。

（2）氮元素所在周期的元素性质递变规律。

（3）氮元素所在主族的元素性质递变规律。

（4）含有氮元素的常见物质的性质及它们之间的转化关系。

应用 · 实践

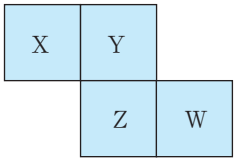
5. X、Y、Z、W 均为短周期元素，它们在元素周期表中的位置如图所示。若 Y 原子的最外层电子数是次外层电子数的 3 倍，则下列说法中，正确的是（　　）。

A. 原子半径：W > Z > Y > X

B. 最高价氧化物对应水化物的酸性：Z > W > X

C. 四种元素的单质中，Z 单质的熔点、沸点最高

D. W 单质能与水反应，生成一种具有漂白性的物质



第5题图

6. 请根据元素周期律、元素周期表的知识解决下列问题。

（1）写出以下元素的元素符号。

其单质氧化性最强的元素：_____，短周期中其单质还原性最强的元素：_____。

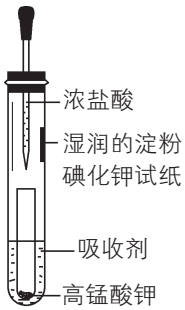
（2）从原子结构的角度说明 Cl 的得电子能力比 S 强的原因：_____。

（3）已知 $_{33}As$、$_{35}Br$ 位于同一周期，请完成下列排序。

As^{3-}、Br^- 的还原性：_____ > _____。

H_3AsO_4、H_2SO_4、H_3PO_4 的酸性：_____ > _____ > _____。

7. 一位同学设计了一套用浓盐酸和高锰酸钾固体制取少量氯气并能比较氯气与碘单质氧化性强弱的微型装置，如图所示。



第7题图

（1）下列溶液中，能吸收氯气的是（　　）。

A. 饱和食盐水　　B. 饱和 Na_2SO_3 溶液

C. 饱和 NaOH 溶液　　D. 浓硫酸

（2）能说明氯气的氧化性强于碘单质的实验现象是_____。

（3）请用原子结构的知识解释氯气的氧化性强于碘单质的原因：_____。

8. 已知 A、B、C、D、E 是短周期中的五种非金属元素，它们的原子序数依次增大。A 元素的原子形成的离子核外电子数为 0，B 元素的原子的最外层电子数是内层电子数的 2 倍，C、D 元素在元素周期表中处于相邻的位置，E 元素与 D 元素处于同一主族，E 元素的单质为黄色晶体。

（1）请写出元素符号：

A_____，B_____，C_____，D_____，E_____。

（2）请画出 E 元素的阴离子的结构示意图：_____。

（3）A 元素的单质和 C 元素的单质能在一定条件下反应生成化合物 X，该反应的化学方程式为_____。向 X 的水溶液中滴入酚酞溶液，会观察到_____。

迁移·创新

9. 某一元素具有如下性质，请你推测该元素在元素周期表中的位置。

（1）其最高价氧化物既可以溶于浓盐酸，也可以溶于 NaOH 溶液。

（2）其最高价氧化物对应的水化物既可以与酸反应，也可以与碱反应。

（3）1 mol 该元素最高价氧化物对应的水化物在与盐酸反应时，最多能消耗 4 mol HCl。

10. 部分元素的性质与原子（或分子）结构见下表：

元素编号	元素性质与原子（或分子）结构
T	最外层电子数是次外层电子数的 3 倍
X	常温下单质由双原子分子构成，1 个分子中有 14 个电子
Y	M 层比 K 层少 1 个电子
Z	是第 3 周期元素的简单离子中半径最小的

（1）请画出 T 元素的原子结构示意图：_____。

（2）Y 元素与 Z 元素相比，金属性较强的是_____（用元素符号表示）。下列表述中，能证明这一事实的是_____（填序号）。

A. Y 元素的单质的熔点比 Z 元素的单质的低

B. Y 元素的最高正化合价比 Z 元素的低

C. Y 元素的单质与水反应比 Z 元素的单质与水反应剧烈

D. Y 元素的最高价氧化物对应的水化物的碱性比 Z 元素的强

11. 动手实践。

某同学探究同周期元素性质递变规律时，自己设计了一套实验方案，进行实验并记录了有关实验现象。

实验步骤	实验现象
① 将镁条用砂纸打磨后，放入沸水中，再向溶液中滴加少量酚酞溶液	A. 浮在水面上，熔成小球，做不定向运动，随后消失，溶液变成红色
② 向新制得的 Na_2S 溶液中滴加新制的氯水	B. 有气体产生，溶液变成浅红色
③ 将一小块金属钠放入滴有酚酞溶液的冷水中	C. 剧烈反应，迅速产生大量无色气体
④ 将镁条放入稀盐酸中	D. 反应较快，产生无色气体
⑤ 将铝条放入稀盐酸中	E. 生成白色胶状沉淀，继而沉淀消失
⑥ 向 $AlCl_3$ 溶液中滴加 NaOH 溶液至过量	F. 生成淡黄色沉淀

请帮助该同学整理并完成实验报告。

（1）实验目的：_____。

（2）实验用品：

金属钠，镁条，铝条，稀盐酸，新制氯水，新制 Na_2S 溶液，$AlCl_3$ 溶液，NaOH 溶液，酚酞溶液等；

_____，_____，_____，酒精灯，试管夹，镊子，小刀，玻璃片，砂纸等。

（3）实验内容：（填写与实验步骤标号对应的实验现象的序号并写出相应反应的化学方程式）

实验步骤	实验现象	化学方程式
①		
②		
③		
④		
⑤		
⑥		

（4）实验结论：_____。

（5）请用原子结构的知识简单解释上述结论。

（6）为探索同周期元素性质的递变规律，你还能提出其他的可行性方案吗？

第2章 化学键 化学反应规律

第 1 节　化学键与物质构成

利用实验，人们证实了物质是由分子、原子、离子等微观粒子构成的，如氧气由氧分子构成、金刚石由碳原子构成、氯化钠由钠离子和氯离子构成。

联想 · 质疑

人类对构成物质的微粒之间的结合方式的认识源远流长。以下是历史上三位化学家对微粒间结合方式的认识。根据他们的观点，你认为氯原子是如何结合成氯分子的？钠离子和氯离子是怎样形成的，又是如何结合成氯化钠的？

19 世纪初

贝采里乌斯（J.Berzelius，1779—1848）在对正、负电相互吸引这一认识的基础上提出了电化二元学说，这一学说成为后来形成的离子键理论的基础。

19 世纪 70 年代

范托夫（J.van't Hoff，1852—1911）提出了甲烷分子的四面体假说，即甲烷分子中碳原子位于正四面体的中心、氢原子位于正四面体的四个顶点。

20 世纪 20 年代

路易斯（G.Lewis，1875—1946）在德国科学家柯赛尔提出的“任何元素的原子都要使最外层满足 8 电子稳定结构”观点的基础上，提出了共价键电子对理论。

图2-1-1　三位化学家对微粒间结合方式的认识

一、化学键

物质都是由微观粒子构成的，那么，微观粒子之间是否存在着相互作用呢？

交流 · 研讨

1. 加热至 100 ℃时，水会沸腾变成水蒸气。在这一变化过程中，外界提供的能量的作用是什么？

2. 加热至 2 200 ℃以上时，水会分解。在这一过程中，外界提供的能量的作用是什么？

3. 为什么使水分解需要加热到 2 200 ℃以上，而使水沸腾只需要加热到 100 ℃？

通过对这些问题的思考，你对“微粒之间是否存在着相互作用”这一问题有了什么认识？

使水发生分解反应，为什么要加热至 2 200 ℃以上呢？原来，在水分子中，氢原子和氧原子之间存在着很强的相互作用，要破坏这种相互作用就要消耗足够多的能量。这种相邻原子间的强相互作用称为**化学键**（chemical bond）。

水分子之间也存在着相互作用，要破坏这种相互作用也需要消耗能量，但比让水分解所需要的能量少得多；也就是说，水分子之间的相互作用要比水分子内氢原子、氧原子之间的相互作用弱得多，这种相互作用不属于化学键。

迁移 · 应用

分析下表列出的各反应中化学键变化的情况，写出各反应中断裂的化学键和形成的化学键。

【示例】在通电的条件下，水发生分解反应生成氢气和氧气。

$$2H_2O \xlongequal{通电} 2H_2\uparrow + O_2\uparrow$$

在此反应中，水分子中氢原子和氧原子之间的化学键断裂；氢原子之间形成新的化学键，氧原子之间也形成新的化学键。

化学反应	断裂的化学键	形成的化学键
$2H_2 + O_2 \xlongequal{点燃} 2H_2O$		
$H_2 + Cl_2 \xlongequal{点燃} 2HCl$		
$N_2 + 3H_2 \underset{催化剂}{\overset{高温、高压}{\rightleftharpoons}} 2NH_3$		

思考

上述讨论对你认识化学反应的实质有哪些新的启示？

化学反应的实质是旧化学键断裂和新化学键形成。化学键的断裂与形成伴随着能量的变化，旧化学键断裂需要吸收能量，新化学键形成会释放能量。

二、离子键和共价键

水分子中存在着由氢原子和氧原子形成的化学键，氯化氢分子中存在着由氢原子和氯原子形成的化学键；实验证明，氯化钠固体中也存在着化学键，但是这种化学键不同于水分子和氯化氢分子中的化学键。

交流 · 研讨

金属钠在氯气中燃烧能够生成氯化钠，氢气在氯气中燃烧能够生成氯化氢。那么，氯原子与钠原子是如何形成氯化钠的，氯原子与氢原子又是如何形成氯化氢的？二者的形成过程有什么不同，又为什么会有不同？

1. 离子键

在氯化钠形成的过程中，钠原子最外层的 1 个电子转移到氯原子的最外层上，形成带正电荷的 Na^+ 和带负电荷的 Cl^-（二者的最外层均达到稳定结构）。带相反电荷的两种离子通过静电作用形成稳定的化合物——氯化钠。

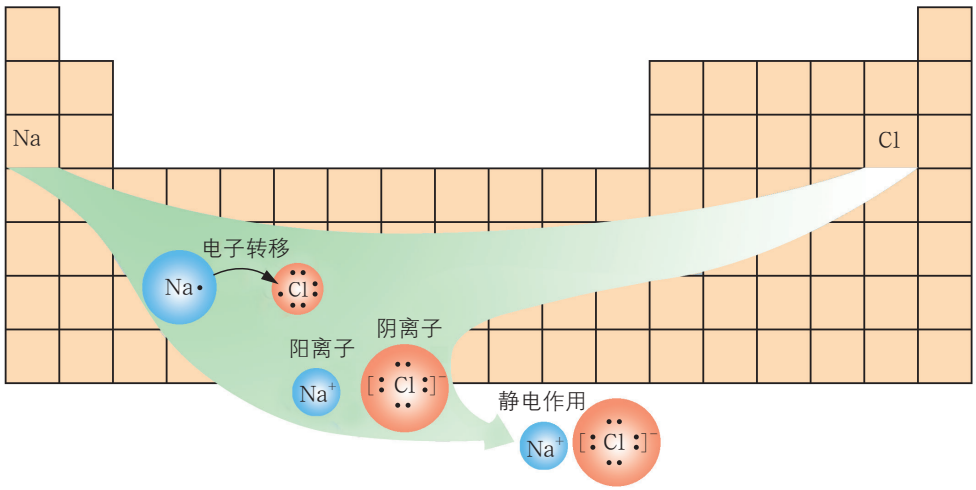


图2-1-2 钠原子和氯原子形成氯化钠的示意图

阴、阳离子之间通过静电作用形成的化学键，叫作**离子键**（ionic bond）。一般情况下，活泼金属元素原子与活泼非金属元素原子之间容易形成离子键。钠原子与氯原子形成离子键的过程可以表示为：

$$Na\cdot + \cdot\ddot{\underset{\cdot\cdot}{Cl}}: \longrightarrow Na^+ [:\ddot{\underset{\cdot\cdot}{Cl}}:]^-$$

可以用电子式（一种由元素符号和用于表示该元素原子最外层电子的“·”或“×”组成的式子）表示氯化钠中的化学键：$Na^+ [:\ddot{\underset{\cdot\cdot}{Cl}}:]^-$。

2. 共价键

在氯化氢分子形成的过程中，氯原子和氢原子各提供一个电子组成一对共用电子，使二者的最外层都达到稳定结构，并使二者产生强烈的相互作用，从而形成氯化氢分子。

原子之间通过共用电子形成的化学键，叫作**共价键**（covalent bond）。一般情况下，非金属元素原子之间形成的化学键是共价键。氢原子与氯原子形成共价键的过程可用电子式表示为：

$$H\cdot + \cdot\ddot{\underset{\cdot\cdot}{Cl}}: \longrightarrow H:\ddot{\underset{\cdot\cdot}{Cl}}:$$

由共价键形成的分子具有一定的空间结构。例如，二氧化碳分子呈直线形，水分子呈角形，氨分子呈三角锥形，甲烷分子呈正四面体形。

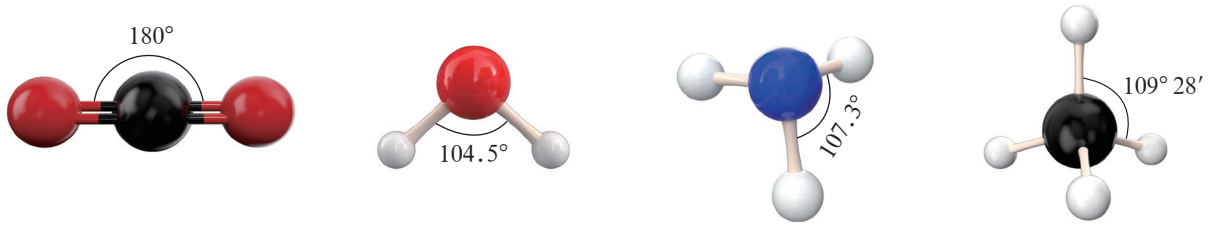


图2-1-3　二氧化碳、水、氨、甲烷分子的空间结构示意图

三、离子化合物与共价化合物

人们根据物质的构成将化合物分为离子化合物和共价化合物等。由阳离子与阴离子构成的化合物称为**离子化合物**（ionic compound），如 NaCl、KOH、CaO、$MgCl_2$ 等；由原子通过共价键构成的化合物称为**共价化合物**（covalent compound），如 HCl、H_2O、CO_2、CH_4、NH_3 等。

迁移 · 应用

下表给出的都是你熟悉的一些化合物，请分析它们的构成情况和化合物类型。

化合物	形成化学键的微粒	化学键类型	化合物类型
水			
氨气			
氢氧化钠			
氯化钾			
氯化钙			

拓展视野

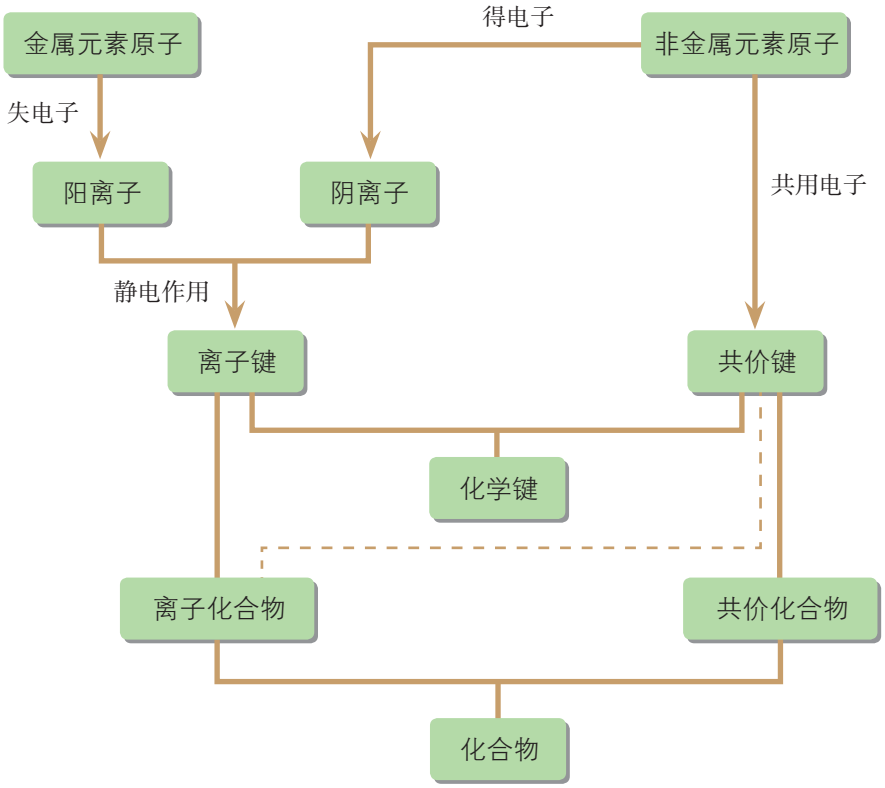
化学键与物质性质

研究物质中的化学键，可以帮助人们解释物质的某些性质。例如，氯化钠熔化时要破坏其中的离子键，这需要较多的能量，因此氯化钠的熔点较高；氯化钠由阴、阳离子构成，熔化后，离子键被破坏，形成自由移动的离子，因此熔融态的氯化钠具有导电性。又如，氮气分子内部存在很强的共价键，很难被破坏，所以在通常状况下氮气的化学性质很稳定。再如，分子结构相似的 HF、HCl、HBr、HI 中的共价键强度从 HF 到 HI 逐渐减弱，因此这四种氢化物的热稳定性从 HF 到 HI 也逐渐减弱。

不同元素的两个原子形成共价键时，它们吸引共用电子的能力不同，共用电子将偏向吸引电子能力较强的一方，所形成的共价键是极性共价键，简称极性键。同种元素的两个原子形成共价键时，它们吸引共用电子的能力相同，所形成的共价键是非极性共价键，简称非极性键。共价键是否具有极性以及极性的强弱程度，都对物质的性质有着重要影响。例如，乙醇分子中氢氧键、碳氧键的极性比碳氢键的极性强，导致乙醇在发生化学反应时分子中的氢氧键、碳氧键更容易断裂。

概括 · 整合

1. 梳理化学键的类型及各类化学键的主要特点。
2. 总结化合物的构成和分类的关系，示例如下：



练习与活动

学习 · 理解

1. 物质之间发生化学反应时，一定发生变化的是（　　）。

A. 颜色　　B. 状态　　C. 化学键　　D. 原子核

2. 下列性质中，可以证明某化合物中存在离子键的是（　　）。

A. 可溶于水　　B. 有较高的熔点

C. 水溶液能导电　　D. 熔融状态能导电

3. 下列物质中，既含有离子键又含有共价键的是（　　）。

A. $Ca(OH)_2$　　B. H_2O_2　　C. Na_2O　　D. $MgCl_2$

应用 · 实践

4. 下列过程中，共价键被破坏的是_____（填序号），理由是_____。

A. 碘晶体升华　　B. 溴蒸气被木炭吸附

C. 酒精溶于水　　D. 氯化氢气体溶于水

5. 有下列一组物质：

HCl	CO_2	H_2O	H_2	NaOH
Cl_2	NaF	CH_4	CaO	$MgCl_2$

（1）这些物质中分别存在哪些类型的化学键？

（2）请分别从中找出属于离子化合物或共价化合物的物质。

（3）对于这些物质，你是否还有其他的分类方法？分类的标准是什么？

6. W、X、Y、Z 为四种短周期主族元素，它们的原子序数依次增大，其中只有 Y 元素为金属元素。Y 和 W 元素原子的最外层电子数相等。Y、Z 两种元素原子中的质子数之和为 W、X 两种元素原子中的质子数之和的 3 倍。

（1）请写出元素符号：W 为_____，X 为_____，Y 为_____，Z 为_____。

（2）W_2Z 中含有_____（填“离子键”或“共价键”）。

（3）请分析由 Y、X、W 三种元素组成的物质中存在的化学键：_____。

第 2 节　化学反应与能量转化

在化学反应中，不仅有物质的变化，还伴随着能量的变化。人们利用化学反应，有时是为了制取所需要的物质，如从铜矿石中提炼金属铜；有时则是为了利用反应所释放的能量，如在汽车发动机中，汽油燃烧释放大量的能量，产生动力。

图2-2-1　利用从铜矿石中提炼的铜制成铜壶

图2-2-2　汽油在汽车发动机里燃烧释放能量产生动力

联想 · 质疑

在以下两个你熟悉的化学反应中，除了物质的变化外是否还有能量的变化？如果有，是什么样的能量变化？

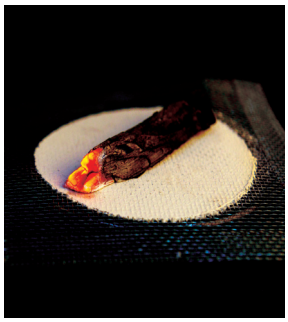


图2-2-3　木炭在空气中燃烧

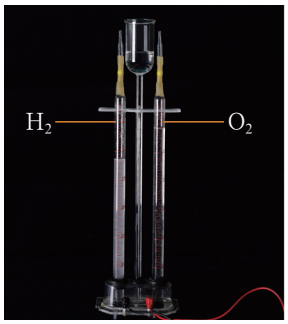


图2-2-4　水在通电条件下分解

1. 化学反应中能量变化的本质是什么？
2. 木炭在空气中燃烧时，化学能会转化成哪些形式的能量？
3. 电解水的过程中，电能转化成化学能。那么，化学能可以转化成电能吗？

一、化学反应中能量变化的本质及转化形式

在化学反应过程中，破坏旧化学键需要吸收一定的能量来克服原子（或离子）之间的相互作用，形成新化学键时又要释放一定的能量。因此，在化学反应中，不仅有新物质生成，而且伴随着能量变化。

活动 · 探究

感受化学反应中的能量变化

请利用所给用品进行实验，感受化学反应中的能量变化。

实验用品

锌粉，铁粉，碳酸氢钠，稀盐酸，柠檬酸，蒸馏水；

试管，烧杯，温度计，胶头滴管，药匙。

实验方案设计及实施

实验内容	实验现象	结论

讨论

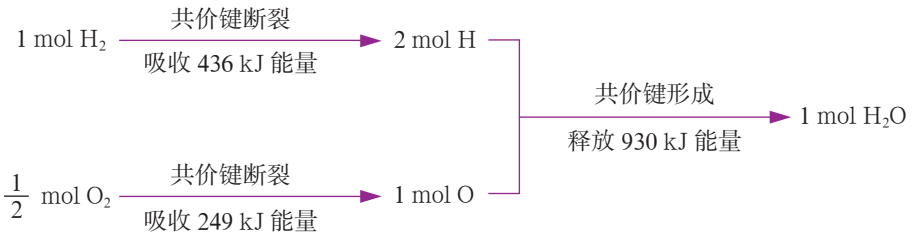
1. 上述反应中，哪些是释放能量的反应，哪些是吸收能量的反应？你还知道哪些吸收能量的反应？请举例说明。

2. 化学反应中为什么会有能量的变化？

每一个化学反应都伴随着能量的变化，有的反应吸收能量，有的反应释放能量。化学上把最终表现为吸收热量的化学反应叫作**吸热反应**（endothermic reaction），如碳酸氢钠与柠檬酸的反应、碳酸钙受热分解的反应、二氧化碳与碳单质生成一氧化碳的反应等都属于吸热反应；把最终表现为释放热量的化学反应叫作**放热反应**（exothermic reaction），如燃烧、金属与酸的反应、中和反应等都属于放热反应。

交流 · 研讨

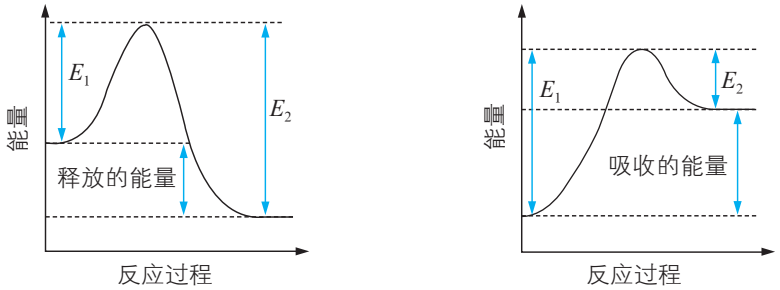
请根据下列信息判断氢气燃烧生成水蒸气时是吸收能量还是释放能量。



讨论

从化学键的角度分析化学反应中能量变化的实质。

在化学反应过程中，如果形成新化学键释放的能量大于破坏旧化学键吸收的能量，就会有一定的能量以热能、电能或光能等形式释放出来；如果形成新化学键释放的能量小于破坏旧化学键吸收的能量，则需要吸收能量，如图 2-2-5 所示。



注：E_1 为破坏旧化学键吸收的能量，E_2 为形成新化学键释放的能量。

图2-2-5 化学键与化学反应过程中的能量变化

综上所述，可将化学反应的过程看作“储存”在物质内部的能量转化为热能、电能或光能等释放出来的过程，或者是热能、电能或光能等转化为物质内部的能量被“储存”起来的过程。一个确定的化学反应发生时是吸收能量还是释放能量，取决于反应物的总能量与生成物的总能量的相对大小，如图 2-2-6 所示。

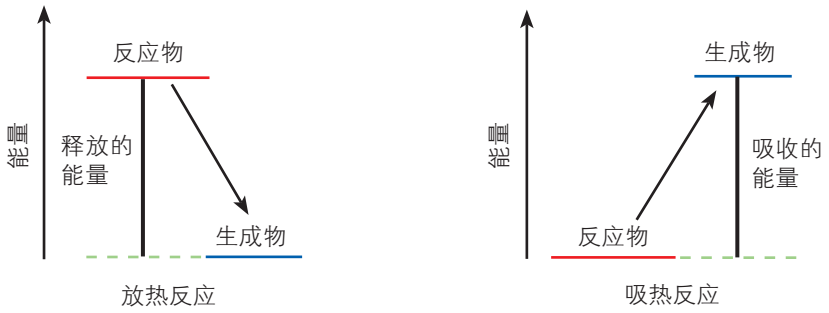


图2-2-6 化学反应过程中的能量变化

迁移 · 应用

1. 请从化学能与热能转化关系的角度分析用天然气烧水过程中的能量变化。

2. 某同学用图 2-2-7 来表示自己对物质变化的认识过程，请说明这幅图的含义。

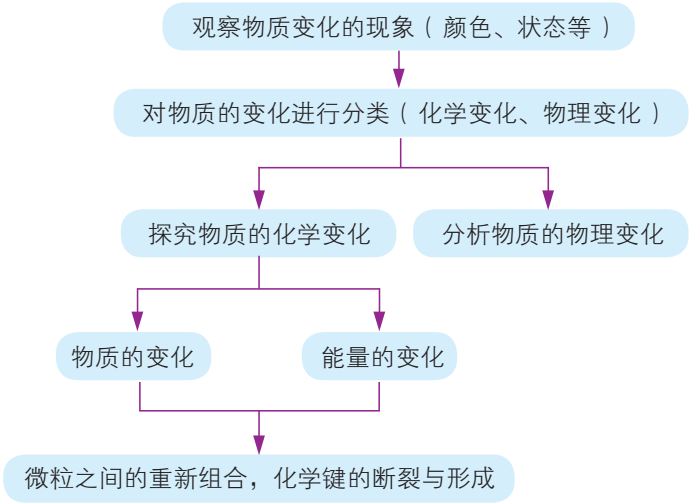


图2-2-7　对物质变化的认识

3. 当前，很多地区倡导用天然气替代煤作为家用燃料。请查阅相关资料，从物质变化和能量变化的角度对这一倡议进行评价。

人们常常利用化学反应将化学能转化为热能、电能等其他形式的能量，用于生产、生活和科研。例如，焊接钢轨利用了铝与氧化铁反应产生的热量，铝－空气海洋电池则利用铝与氧气的反应产生的电能供电。化学家也常常利用热能、电能等促使很多化学反应发生，获得所需要的物质，如煅烧石灰石制取生石灰、太阳能光解水制氢等。可见，研究化学反应中能量的转化，对于社会发展、科技进步具有重要意义。

资料在线

氢　能

氢能被视为 21 世纪最具发展潜力的清洁能源，世界上许多国家和地区已经广泛开展了氢能研究。20 世纪 50 年代，科学家利用液氢作为超音速和亚音速飞机的燃料，成功地使氢能飞机上天。氢氧燃料电池被认为是利用氢能解决未来人类能源危机的途径之一。氢氧燃料电池可将化学能直接转换为电能，能量转换效率通常为 60% ~ 80%，而且污染少、噪音小、装置可大可小、使用方便。

我国发展氢能具有明显优势，制氢原料充足，工业副产品制氢、可再生能源制氢、化石燃料制氢等丰富的氢气来源为我国氢能产业的发展提供了基础保障。

图2-2-8　使用氢燃料的长征5号运载火箭

二、化学反应能量转化的重要应用——化学电池

现在，化学电池已成为人类生产和生活的重要能量来源之一，各式各样的化学电池的发明也是化学科学对人类的一个重大贡献。化学电池是根据原电池原理制成的。原电池是一种利用氧化还原反应将化学能直接转化成电能的装置。那么，原电池是由哪些部分组成的？原电池中各部分的作用是什么？

观察 · 思考

初识氢氧燃料电池

人们不仅利用氢气、氧气反应产生的热能为火箭升空提供动力，还通过电池利用氢气、氧气反应产生的电能为航天器供电。图 2-2-9 是一个简易的氢氧燃料电池的实验装置示意图。请用图 a 装置电解获得氢气和氧气，再按图 b 所示连接装置进行实验，记录观察到的实验现象。

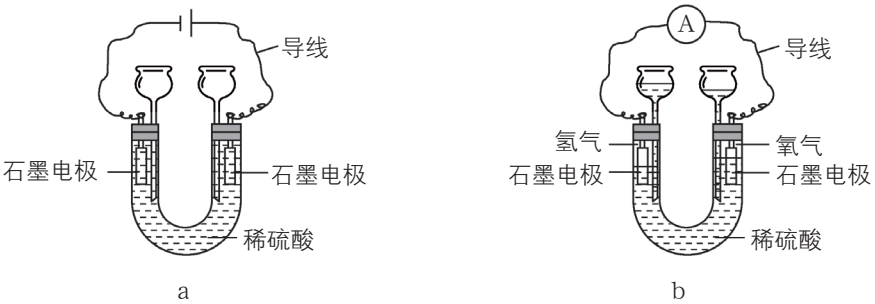


图2-2-9 简易氢氧燃料电池的实验装置示意图

思考

实验过程中，电流表指针发生明显偏转，燃料电池中发生了反应：$2H_2 + O_2 = 2H_2O$。

1. 简易氢氧燃料电池是如何将化学能转化成电能的？
2. 组装电池需要满足哪些基本条件？

在图 b 所示装置中，氧化反应与还原反应分别在两个不同的区域进行。其中，氢气分子中的氢原子在左侧石墨电极上失去电子，氢气作为电池的负极反应物；氧气分子中的氧原子在右侧石墨电极上得到电子，氧气作为电池的正极反应物。稀硫酸中存在的自由移动的离子起到传导电荷的作用，导线起到传导电子的作用。

物理学认为，在一个有电源的闭合回路中，产生电流的原因是电源给用电器提供了电势差。简易氢氧燃料电池能够给用电器提供电势差，是由于在两个石墨电极上有得失电子能力不同的物质——氢气和氧气；当形成闭合回路时，便会产生电流。

由此可见，原电池的基本工作原理是，还原剂和氧化剂分别在两个不同的区域发生氧化反应和还原反应，并通过能导电的物质形成闭合回路产生电流。其中，还原剂（如氢气）在负极上失去电子，是负极反应物；氧化剂（如氧气）在正极上得到电子，是正极反应物；电极材料（如石墨电极）通常是能够导电的固体。此外，还要有能传导电荷的电解质（如稀硫酸）作为离子导体；而导线则作为电子导体，起到传导电子形成闭合回路的作用。

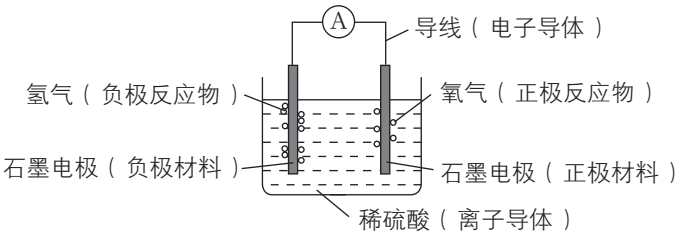


图2-2-10　氢氧燃料电池的构成要素图

活动 · 探究

学生必做实验

设计一个简单的原电池

实验目的

利用所给用品设计装置并进行实验，将下列反应所释放的能量转化为电能。

$$Zn + 2H^+ = Zn^{2+} + H_2\uparrow$$

实验用品

锌片，铜片，石墨棒，稀硫酸，稀盐酸；

烧杯，导线，电流表，开关。

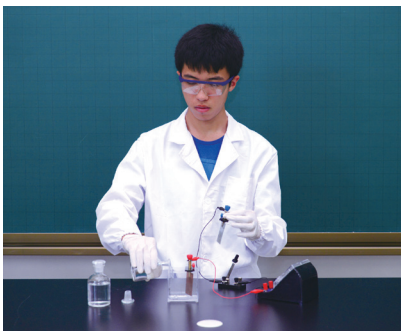


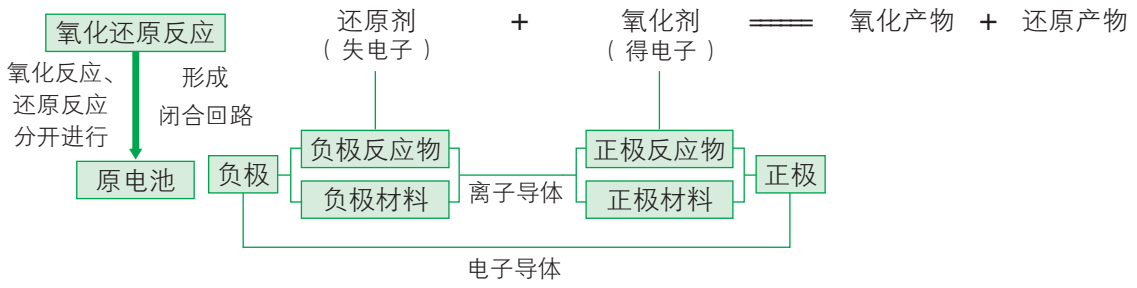
图2-2-11　学生在组装简单的原电池

实验方案设计及实施

设计思路及依据		实验装置	实验现象
氧化还原反应：$Zn + 2H^+ = Zn^{2+} + H_2\uparrow$			
确定负极	选择负极反应物：		
	选择负极材料：		
确定正极	选择正极反应物：		
	选择正极材料：		
构成闭合回路	选择离子导体：		
	选择电子导体：		

方法导引

设计原电池的基本思路



思考

1. 尝试分析如图 2-2-12 所示的原电池的工作原理。

2. 在如图 2-2-12 所示的装置中，锌片、铜片与稀硫酸，哪些可以替换为其他物质却同样能产生电流？

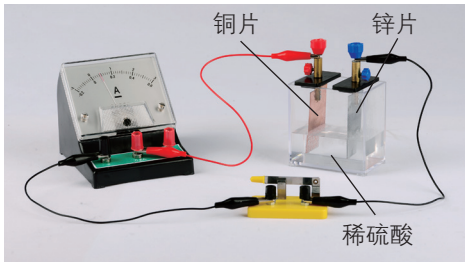


图2-2-12 原电池

设计原电池时，需要确定正极反应物和正极材料以及负极反应物和负极材料。结合锌与 H^+ 反应的特点，可知锌原子失电子，金属锌作为负极反应物；同时，金属锌是能导电的固体，可以作为负极材料。H^+ 得电子，能电离产生 H^+ 的物质可以作为正极反应物，如盐酸、稀硫酸等。盐酸、稀硫酸等是电解质溶液，能提供自由移动的离子，可以作为离子导体。正极材料则最好选择不与正极反应物和离子导体发生反应且能导电的固体，如金属铜、石墨等。

在实验中，当把铜片和锌片一同浸入稀硫酸时，锌原子失去电子被氧化成 Zn^{2+} 进入溶液，锌片上的电子通过导线流向铜片，溶液中的 H^+ 在铜片上获得电子而被还原形成氢原子，氢原子结合成氢分子在铜片上逸出。在电池正、负极上发生的变化即电极反应，可表示为：

负极反应（氧化反应）：$Zn - 2e^- = Zn^{2+}$

正极反应（还原反应）：$2H^+ + 2e^- = H_2\uparrow$

目前，市场上的化学电池有干电池（属于一次电池）、充电电池（又称二次电池）和燃料电池等。手电筒等使用的锌锰电池属于干电池，而汽车用的铅蓄电池以及手机用的锂离子电池等属于充电电池。燃料电池由于具有能量转换效率高、能长时间提供电能等优点而主要应用于航天和军事领域。目前，降低成本、提高发电效率、实现民用化是燃料电池研发的热点。

图2-2-13　各种各样的化学电池

图2-2-14　用于驱动汽车的燃料电池

身边的化学

认识锌锰干电池

你平常使用的 5 号电池或 7 号电池都是锌锰干电池。锌锰干电池分为酸性锌锰干电池和碱性锌锰干电池两种。其中，酸性锌锰干电池的组成如图 2-2-15 所示。

在酸性锌锰干电池中，锌筒既是负极反应物又是负极材料；二氧化锰做正极反应物，碳棒做正极材料；糊状物中的氯化铵、氯化锌做离子导体。

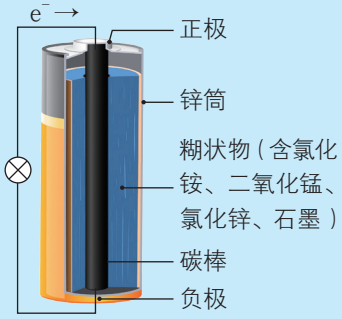
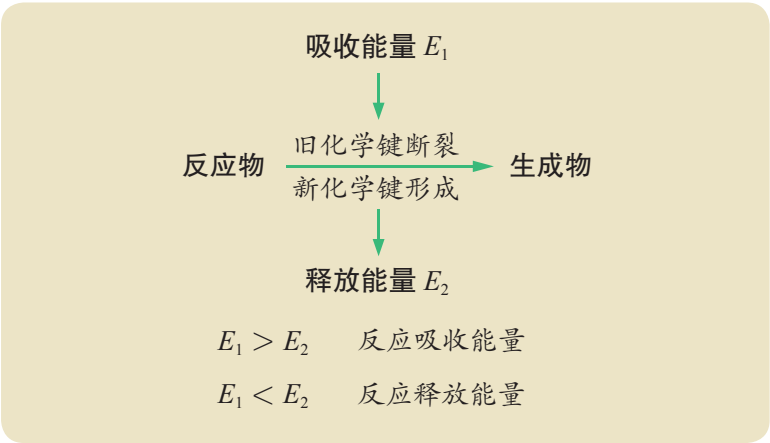


图2-2-15　酸性锌锰干电池组成示意图

概括 · 整合

1. 归纳总结化学反应中的能量变化，示例如下：



2. 原电池是利用氧化还原反应将化学能直接转化成电能的装置。电极反应物、电极材料、离子导体、电子导体是构成原电池的基本要素。尝试用图示的方法描述上述基本要素之间的关系。

练习与活动

学习·理解

1. 从能量的角度看，断开化学键要_____，形成化学键要_____。化学反应发生时是释放能量还是吸收能量取决于_____。

2. 镁条与盐酸的反应（　　）。

A. 是吸热反应　　B. 是放热反应

C. 既是吸热反应也是放热反应　　D. 既不是吸热反应也不是放热反应

3. 甲烷燃烧能提供能量是因为（　　）。

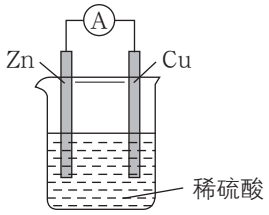
A. 甲烷的能量高

B. 生成物分子形成化学键释放能量

C. 破坏反应物分子化学键所吸收的能量小于形成生成物分子化学键所释放的能量

D. 破坏反应物分子化学键所吸收的能量大于形成生成物分子化学键所释放的能量

4. 一种简单的原电池装置示意图如图所示。请据图回答下列问题。



第4题图

（1）锌是该电池的_____（填“正”或“负”）极。

（2）装置中锌的作用是（　　），稀硫酸的作用是（　　）。

A. 电极材料　　B. 电极反应物

C. 电子导体　　D. 离子导体

（3）从化学的角度分析，该装置能产生电流的原因是_____。

5. 人们可以从不同的角度、不同的层面来认识物质的变化。请以$2H_2+O_2 \xlongequal{点燃} 2H_2O$为例，谈谈你对化学变化的认识。

应用·实践

6. 结合所学内容，判断下列说法是否正确，并说明理由。

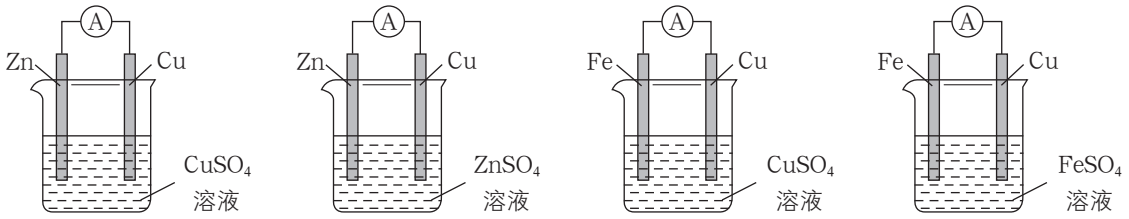
（1）需要加热才能发生的反应一定是吸热反应。

（2）放热反应在常温下一定很容易发生。

（3）可以通过比较反应物所具有的总能量和生成物所具有的总能量判断反应是放热还是吸热。

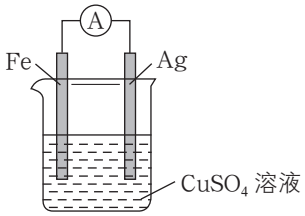
（4）吸热反应在一定条件下也能发生。

7. 某原电池的总反应是 $Zn + Cu^{2+} = Zn^{2+} + Cu$，该原电池的正确组成是（　　）。



A　　B　　C　　D

8. 在如图所示的装置中，一段时间后，右侧电极质量会增加。请分析产生这一现象的原因：_____。



第8题图

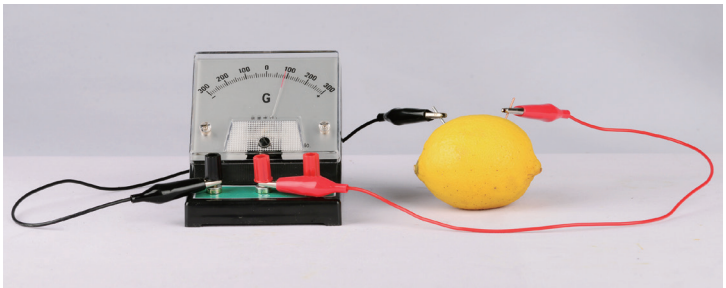
9. 氢气在氯气中燃烧时产生苍白色火焰。在反应过程中，破坏 1 mol H_2 中的化学键消耗的能量为 Q_1 kJ，破坏 1 mol Cl_2 中的化学键消耗的能量为 Q_2 kJ，形成 1 mol HCl 中的化学键释放的能量为 Q_3 kJ。下列关系式中，正确的是（　　）。

A. $Q_1 + Q_2 > Q_3$　　B. $Q_1 + Q_2 > 2Q_3$

C. $Q_1 + Q_2 < Q_3$　　D. $Q_1 + Q_2 < 2Q_3$

10. 动手实践。

如图所示，将两种不同种类的金属棒插入同一水果中，用导线与检流计连接，观察检流计示数的变化。



第10题图

11. 请利用反应 $2Fe^{3+} + Fe = 3Fe^{2+}$ 设计一个原电池，画出简单的装置示意图，标明所使用的用品。

可供选择的用品：铜片，锌片，铁片，石墨棒，NaCl 溶液，$FeCl_3$ 溶液，$FeCl_2$ 溶液，电流表，导线，滤纸，烧杯。

第 3 节　化学反应的快慢和限度

通过前面的学习，我们已经认识了许多化学反应。在观察化学反应的过程中，你是否注意到化学反应进行的快慢和程度有所不同？生产实践和科学研究中的大量事实说明，对于化学反应，我们不仅要关注反应过程中的物质变化和能量变化，还要对化学反应的快慢和限度进行研究，这样才能使化学反应更好地服务于人类的需要。

联想 · 质疑

图2-3-1　现代硫酸厂一角

硫酸是一种重要的化工产品。早在公元 7 世纪人们就开始寻找制取硫酸的方法，但是直到 1875 年德国化学家麦塞尔（R.Messel）以铂为催化剂才使硫酸生产有了较大的发展。尔后，硫酸工业生产的每次突破性进展都是因为使用了新型、高效的催化剂而取得的。那么，在硫酸的工业生产中，催化剂发挥了什么作用？在生产过程中，二氧化硫转化为三氧化硫需要氧气，但即使氧气再过量，二氧化硫也不能全部转化为三氧化硫，这是为什么？

一、化学反应的快慢

有的化学反应进行得很快，几乎瞬间即可完成，如产生美丽焰火的反应；有的化学反应进行得比较缓慢，如金属铜锈蚀的反应；还有一些化学反应则进行得极其缓慢，如塑料的降解反应。人们用**化学反应速率**（chemical reaction rate）来描述化学反应的快慢。

图2-3-2　美丽的焰火在天空中绽放

图2-3-3　缓慢锈蚀的青铜大钟

对于在体积固定的容器中进行的化学反应 $aA + bB = cC + dD$ 来说，其化学

反应速率可用单位时间某反应物浓度的减少量（绝对值）或某生成物浓度的增加量来表示。例如，以反应物 A 来表示，反应的化学反应速率为：

$$v(\mathrm{A}) = \frac{|\Delta c(\mathrm{A})|}{\Delta t}$$

以生成物 D 来表示，反应的化学反应速率为：

$$v(\mathrm{D}) = \frac{\Delta c(\mathrm{D})}{\Delta t}$$

化学反应速率的单位通常为 $\mathrm{mol \cdot L^{-1} \cdot min^{-1}}$ 或 $\mathrm{mol \cdot L^{-1} \cdot s^{-1}}$。

化学反应的快慢受反应温度、反应物浓度等条件的影响。例如，把食物放在冰箱里保存，可以延缓食物腐败和变质的过程；用 H_2O_2 溶液制取氧气的过程中，加入二氧化锰等催化剂，可以提高过氧化氢分解的化学反应速率等。

活动 · 探究

学生必做实验

探究化学反应速率的影响因素

实验目的

探究哪些因素能影响化学反应速率。

预测

化学反应速率与哪些因素有关？这些因素对化学反应速率会产生怎样的影响？

实验用品

表面积大致相同的镁条、铁片，块状碳酸钙，碳酸钙粉末，二氧化锰粉末，盐酸（0.5 $\mathrm{mol \cdot L^{-1}}$，3 $\mathrm{mol \cdot L^{-1}}$），$H_2O_2$ 溶液（3%）；

试管，药匙，镊子，胶头滴管，酒精灯，试管夹，火柴。

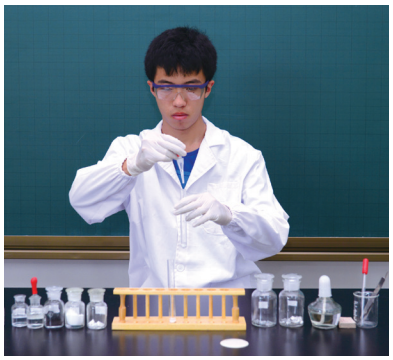


图2-3-4　学生在探究化学反应速率的影响因素

实验方案设计

1. 选择化学反应	
2. 确定待研究的影响因素	
3. 设计改变影响因素的操作	
4. 确定观测反应快慢的指标	

实验方案实施

实验内容	实验现象	实验结论

讨论

请在学过的化学反应中继续为实验结论寻找证据。

方法导引

变量控制方法

“探究化学反应速率的影响因素”属于探究反应规律类型的任务。设计此类任务实验方案的关键是变量控制，可按以下步骤进行思考。

1. 确定研究对象，如选定符合实验要求的化学反应。

2. 确定自变量和因变量。在本实验中，自变量为浓度、温度、接触面积、催化剂等外界条件，因变量为化学反应速率。

3. 设计实验操作，改变单一自变量。在此过程中，要明确通过实验操作应控制哪个自变量改变、哪些自变量不变。

4. 确定因变量的观测指标。在本实验中，应确定通过观察哪些现象来判断化学反应的快慢。

化学反应速率是由物质本身的内在性质决定的，反应物的浓度、反应的温度、反应物之间的接触面积、催化剂等条件是影响化学反应速率的外部因素。通常情况下，增加反应物浓度、升高温度、增大反应物之间的接触面积以及使用催化剂等，可以提高化学反应速率。

在化工生产中，大多数反应要用到催化剂，如氮气和氢气合成氨气、二氧化硫氧化制备三氧化硫等。催化剂可以使一些化学反应在较低的温度条件下取得较高的化学反应速率，从而节省大量能源，有效地提高化工生产的经济效益。应当说，没有催化剂，就没有现代化学工业。催化剂在生活中的应用也很广泛。例如，催化剂可以促使汽车尾气中的一氧化碳和一氧化氮迅速变成无毒的二氧化碳和氮气，减轻对大气的污染。

不同的催化剂对于同一化学反应往往有不同的催化效果，因此寻找高效催化剂一直是化工生产和科学研究的重要课题之一。

化学与技术

闵恩泽与石油化工催化剂

闵恩泽（1924—2016）是我国的石油化工催化剂专家，曾获得 2007 年度国家最高科学技术奖。

20 世纪 60 年代初，闵恩泽参加并指导完成了“铂重整催化剂”制备等项目，打破了某些国家对我国的技术封锁，解决了国家的迫切需求，为我国炼油催化剂制造技术的发展奠定了基础。20 世纪 70 年代，闵恩泽指导开发出渣油催化裂化催化剂以及钼镍磷加氢精制催化剂等，使我国炼油催化剂的开发利用迎头赶上世界先进水平，实现了我国炼油催化剂的跨越式发展。20 世纪 80 年代后，闵恩泽从战略高度出发，重视基础研究，组织指导了多项催化新材料、新反应工程的导向性基础研究工作，并在一些领域继续取得重大突破。

图2-3-5　闵恩泽

影响化学反应速率的因素除浓度、温度、接触面积、催化剂外，还有压强（对于一些有气态物质参加的反应）、溶剂、光波、电磁波、超声波等。

调控化学反应速率在实践中具有十分重要的意义。在生产和生活中，人们可以根据需要采取适当的措施加快某些反应过程，如钢铁冶炼、泄露到大海里的石油的分解等；也可以根据需要延缓某些反应过程，如防止钢铁腐蚀、延缓塑料制品和橡胶制品的老化等。

二、化学反应的限度

1. 可逆反应

在以前的学习中，我们所接触的化学反应一般都进行得比较完全，如镁条在空气中燃烧、金属钠与水的反应、NaOH 溶液与盐酸的反应等。那么，是不是所有的化学反应都能进行得比较完全呢？

观察 · 思考

认识化学反应存在限度

向 2 mL 0.01 mol · L^{-1} KI 溶液中加入 1 mL 0.01 mol · L^{-1} $FeCl_3$ 溶液，再加入几滴 0.1 mol · L^{-1} KSCN 溶液，你认为能观察到什么现象？为什么？

预测实验现象	观察到的实验现象	结论

思考

上述实验，对你认识化学反应有什么新的启示？

实验证实，即使 KI 过量，$FeCl_3$ 也不可能全部转化成 $FeCl_2$。事实上，这样的反应还有很多，如三氧化二铁与一氧化碳生成铁和二氧化碳的反应、氮气与氢气生成氨气的反应、二氧化硫与氧气生成三氧化硫的反应、氯气与水的反应等。

交流 · 研讨

某班同学以二氧化硫与氧气生成三氧化硫的反应为例，分析为什么即使氧气过量二氧化硫也不能全部转化成三氧化硫。他们在讨论过程中形成了以下三种观点，请结合相关资料对他们的观点进行分析论证。

观点 1：只有部分二氧化硫与氧气发生反应。

观点 2：二氧化硫全部转化成三氧化硫后，部分三氧化硫分解又生成二氧化硫。

观点 3：二氧化硫与氧气反应生成三氧化硫的同时，三氧化硫分解生成二氧化硫和氧气。

针对上述三种观点，他们查阅资料获得了以下信息。

信息 1：实验发现，一定条件下向一密闭容器中充入 SO_2 与 $^{18}O_2$，反应一段时间后，核素 ^{18}O 存在于 SO_2、O_2、SO_3 中。

信息 2：密闭容器中 SO_2 与 O_2 在一定条件下发生反应，反应过程中 SO_3 的物质的量的变化趋势如图 2-3-6 所示。

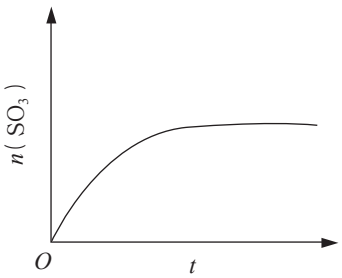
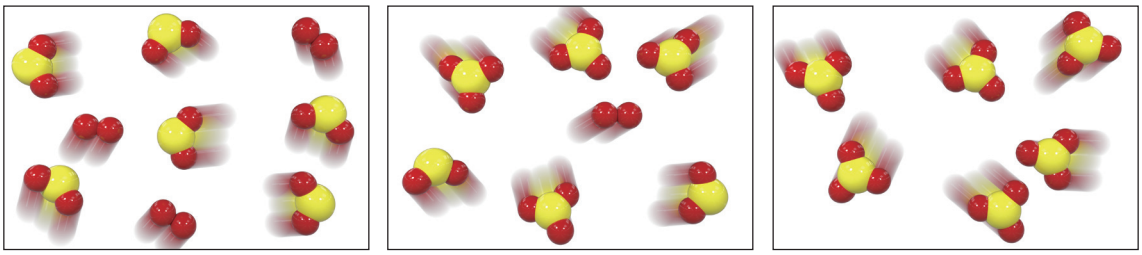


图2-3-6 反应过程中SO_3的物质的量的变化趋势示意图

通过实验发现，在二氧化硫与氧气的反应中，无论怎样改变反应条件都不能使二氧化硫全部转化成三氧化硫。这是因为在二氧化硫与氧气发生化合反应生成三氧化硫的同时，三氧化硫也在发生分解反应生成二氧化硫和氧气。

$$2SO_2 + O_2 \underset{\triangle}{\overset{催化剂}{\rightleftharpoons}} 2SO_3$$



SO_2 和 O_2 → SO_2、O_2 和 SO_3 ← SO_3

图2-3-7 二氧化硫催化氧化、三氧化硫分解示意图

像这种在相同条件下同时向正、逆两个方向进行的反应称为**可逆反应**（reversible reaction）。氨气与水的反应、氮气与氢气生成氨气的反应都属于可逆反应。在可逆反应

的化学方程式中，用“$\rightleftharpoons$”代替“$=$”，例如：

$$N_2 + 3H_2 \underset{\text{催化剂}}{\overset{\text{高温、高压}}{\rightleftharpoons}} 2NH_3$$

其中，氮气与氢气生成氨气的反应称为正反应，氨气分解为氮气和氢气的反应称为逆反应。

事实上，相当多的化学反应都是可逆反应。对于可逆反应来说，在一定条件下反应物不可能全部转化成产物，反应只能进行到一定的程度，这就是该化学反应在这个条件下所能达到的限度。人们利用这些化学反应进行化工生产时，要同时考虑反应所能达到的限度和化学反应速率这两个方面的问题。

2. 化学平衡

在二氧化硫与氧气发生的可逆反应中，当反应进行到一定程度时，反应物和生成物的浓度不再随时间的延续而发生变化，反应好像“停滞”了。实际上，这时正反应和逆反应都依然在进行，只是在同一瞬间正反应生成的三氧化硫的物质的量与逆反应消耗的三氧化硫的物质的量相等而已。

在一定条件下可逆反应进行到一定程度时，反应物和生成物的浓度不再随时间的延长而发生变化，正反应速率和逆反应速率相等，这种状态称为化学平衡状态，简称**化学平衡**（chemical equilibrium）。一定条件下的化学平衡状态是该条件下反应达到一定限度的一种状态。当可逆反应达到化学平衡时，无论是正反应还是逆反应都在继续进行着，因而化学平衡是一种动态平衡。

那么，化学平衡状态能否改变呢？

观察 · 思考

化学平衡状态的改变

将封装有二氧化氮（NO_2）和四氧化二氮（N_2O_4）混合气体的装置两端的球形容器分别浸入热水和冷水中，观察实验现象。

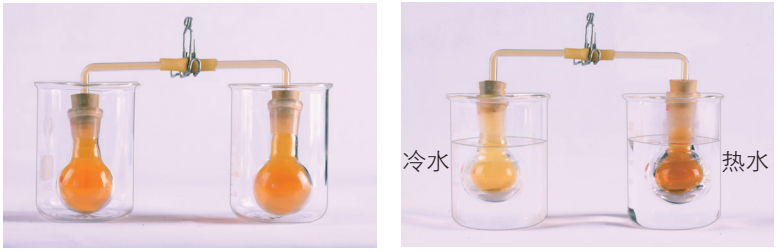


图2-3-8　装有NO_2和N_2O_4混合气体的装置两端的球形容器分别浸入冷水和热水中

二氧化氮转化为四氧化二氮的反应是放热反应，且是可逆反应。

$$\underset{\text{红棕色}}{2NO_2(g)} \rightleftharpoons \underset{\text{无色}}{N_2O_4(g)}$$

思考

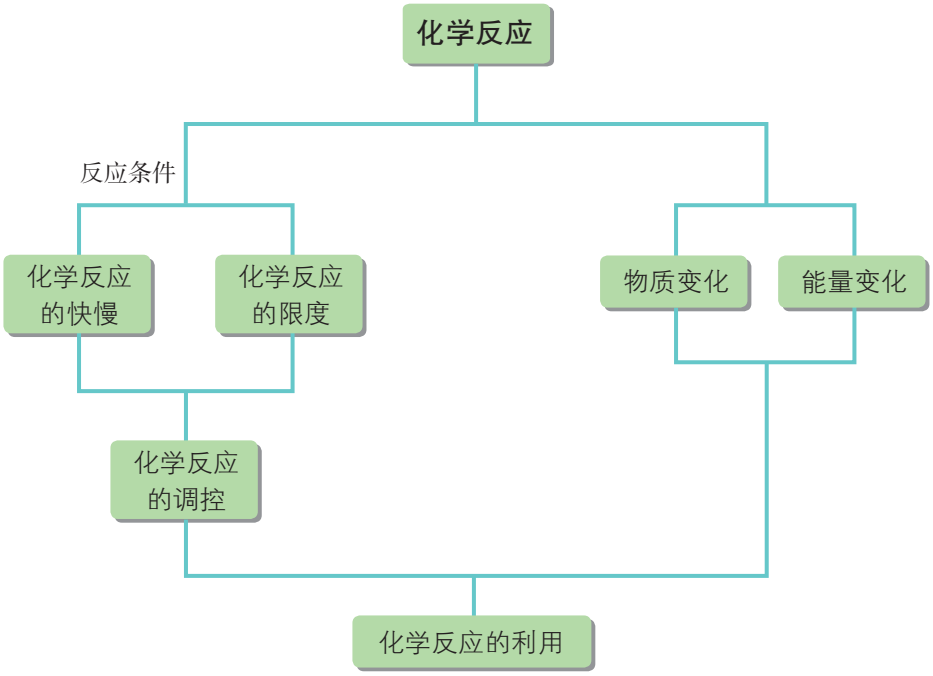
根据观察到的实验现象可以得出什么结论？

在实验过程中，可以观察到浸入冷水中的容器里的气体混合物颜色变浅，平衡混合物中二氧化氮的浓度减小、四氧化二氮的浓度增加，说明温度降低后原平衡状态被破坏，在新的条件下达到新的平衡状态；浸入热水中的容器里的气体混合物颜色变深，平衡混合物中二氧化氮的浓度增加、四氧化二氮的浓度减小，说明温度升高后原平衡状态被破坏，在新的条件下达到新的平衡状态。可见，化学平衡是在一定条件下建立起来的。

大量的科学实验证明，化学平衡状态通常会受到浓度、温度、压强等因素的影响。了解并调控化学平衡对于化工生产来说具有十分重要的意义。

概括 · 整合

1. 用图示的方法说明通过本节课的学习你对化学反应的认识又有了哪些新的发展，示例如下：



2. 总结条件改变对化学反应速率的影响，概括化学平衡状态的特征。

练习与活动

学习 · 理解

1. 下列措施中，能提高化学反应速率的是（　　）。

A. 减小反应物浓度　　B. 降低压强

C. 升高温度　　D. 减小反应物之间的接触面积

2. 根据你对二氧化硫的催化氧化反应的理解，回答下列问题。

（1）如何从微观的角度描述该可逆反应的化学平衡状态？

$$2SO_2 + O_2 \underset{\triangle}{\overset{催化剂}{\rightleftharpoons}} 2SO_3$$

（2）向一密闭容器中充入 SO_2 与 $^{18}O_2$，反应一段时间后，^{18}O 可能存在于哪些物质中？

（3）在有催化剂存在和加热条件下，若将一定量的 SO_3 充入一密闭容器中，最终容器中会存在哪些物质？

3. 在一定条件下，对于密闭容器中进行的反应 $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$，下列说法中，能充分说明该反应已经达到化学平衡状态的是（　　）。

A. 反应混合物中 SO_2、O_2、SO_3 的物质的量之比为 2∶1∶2

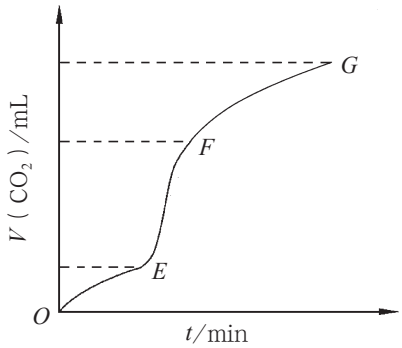
B. 消耗 SO_2 的速率与生成 SO_3 的速率相等

C. 反应混合物中 SO_2、O_2、SO_3 的百分组成不再改变

D. 生成 O_2 的速率与生成 SO_3 的速率相等

应用 · 实践

4. 现欲用纯净的碳酸钙与稀盐酸反应制取二氧化碳气体，请回答下列问题。



第4题图

（1）实验过程如图所示，分析判断：*OE*、*EF*、*FG* 三段中，_____段化学反应最快，_____段收集的二氧化碳最多。

（2）为了降低该反应的速率，拟向溶液中加入下列物质，你认为可行的是（　　）。

A. 蒸馏水　　B. 氯化钠固体

C. NaCl 溶液　　D. 浓盐酸

（3）除了上述方法外，你认为还可以采取哪些措施来降低化学反应速率？

5. 为了说明影响化学反应速率的因素，甲、乙、丙、丁四位同学分别设计了如下四个实验，你认为结论不正确的是（　　）。

A. 在相同条件下，等质量的大理石块和大理石粉分别与相同浓度的盐酸反应时，大理石粉的反应快

B. 将相同大小、相同形状的镁条和铝条分别与相同浓度的盐酸反应时，二者的化学反应速率相等

C. 将相同浓度、相同体积的浓硝酸分别放在暗处和强光处，会发现光照可以加快浓硝酸的分解

D. 室温下，向两支试管中分别加入相同浓度、相同体积的双氧水，再向其中一支试管中加入少量二氧化锰粉末，二者产生氧气的快慢不同

6. 氮气与氢气生成氨气、二氧化硫的催化氧化都是可逆反应，研究发现降低温度有利于平衡向生成氨气或三氧化硫的方向移动，但是在实际生产中这两个反应都是在较高温度下进行的，这主要是考虑了什么因素？

7. 动手实践。

请利用实验室提供的用品探究实验室制备氢气的最佳条件。

实验用品：

锌粒，铁钉，镁条，稀硫酸（1 mol · L^{-1}，3 mol · L^{-1}，5 mol · L^{-1}）；

大试管，秒表，导管，单孔塞，双孔塞，量筒，水槽，广口瓶，烧杯，玻璃棒，镊子，胶头滴管。

（1）请设计实验方案。

（2）请画出实验装置示意图。

（3）请设计实验记录单，包括实验现象、收集气体的体积、收集气体所用时间等。

（4）由此实验可得出什么结论？

微项目

研究车用燃料及安全气囊

——利用化学反应解决实际问题

项目学习目标

- 了解汽车燃料，尝试选择、优化车用燃料，建立化学反应中物质变化与能量变化的关联，初步形成利用化学反应中的物质变化和能量变化指导生产实践的基本思路。
- 通过设计安全气囊，初步形成从化学反应中的物质变化和能量变化及反应速率的视角科学解决问题的思路。

汽车已成为现代社会的重要交通工具之一。100 多年来，汽车工业的发展不仅凝聚了人类的智慧和匠心，还得益于石油、钢铁、铝、化工、塑料、机械设备、电力、电子技术等诸多行业的支撑。

在本项目活动中，你将通过选择车用燃料以及设计安全气囊等活动，体会研究人员是如何利用化学反应来解决汽车工业发展过程中的有关问题的。

项目活动 1　选择车用燃料

自汽车问世以来，它所使用的燃料经历了从煤到汽油的变迁。1769 年，法国人居纽（N.Cugnot）制造了利用煤燃烧产生的蒸汽驱动的三轮汽车，但是这种车的行驶速度仅为 4 km/h，而且每 15 min 就要停车向锅炉中加煤。1885 年，德国工程师卡尔·本茨（K.Benz）在曼海姆制造了一辆装有 0.85 马力（1 马力 ≈ 735 W）汽油机的三轮汽车。这是人类历史上第一辆真正以汽油为燃料的汽车。时至今日，人们依然在探索、优化车用燃料。

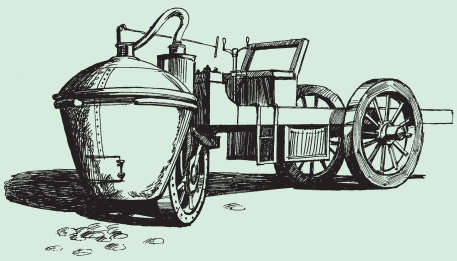


图2-4-1　居纽研制的蒸汽驱动汽车示意图

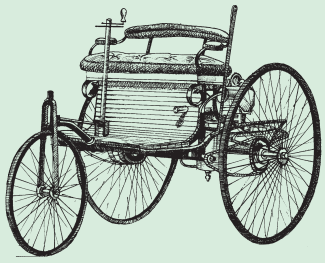


图2-4-2　卡尔·本茨研制的装有汽油机的三轮汽车示意图

讨论

1. 庚烷（C_7H_{16}）是汽油的主要成分之一。请利用图示的方法说明庚烷燃烧过程中发生能量变化的本质原因。

> 完全燃烧 1 mol 庚烷生成二氧化碳和液态水时产生的热量约为 4 800 kJ。

2. 某同学根据所查阅的资料，绘制了三种可燃物在空气中发生燃烧反应的能量变化示意图。根据示意图，你认为哪种物质更适合用作车用燃料？为什么？

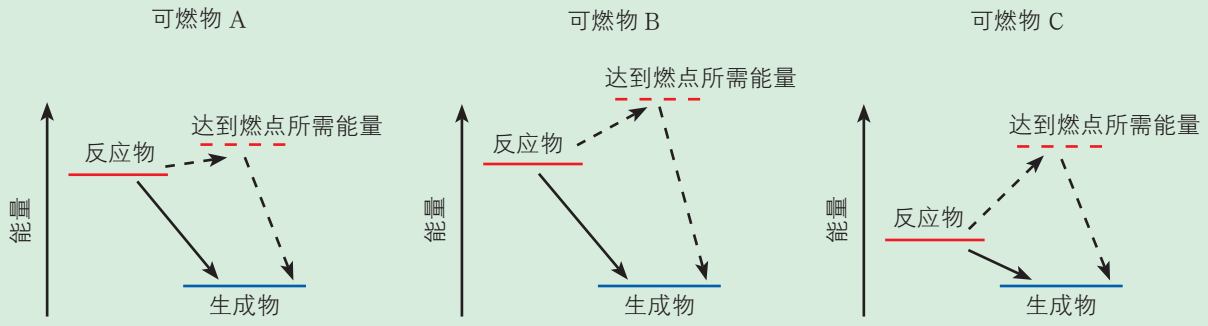


图2-4-3 可燃物燃烧反应的能量变化示意图

3. 汽车尾气中含有 150 ~ 200 种化合物，其中对环境不利的成分主要为碳氢化合物、氮氧化物、一氧化碳、二氧化碳、二氧化硫、硫化氢，以及微量的醛、酚、过氧化物等；对人体健康造成危害的主要有一氧化碳、碳氢化合物、氮氧化物等。目前解决汽车尾气污染问题所采取的措施主要有哪些？汽车尾气中的氮氧化物通常是如何除去的？

4. 从化学反应中能量变化的角度分析，选择车用燃料时主要应考虑哪些因素？除此之外，还需要考虑哪些问题？

5. 通过研讨，你认为利用化学反应指导生产实践时应该从哪些角度考虑问题？

拓展视野

三元催化器

三元催化器是汽车排气系统重要的机外净化装置，其催化剂通常由陶瓷载体、氧化铝涂层、活性组分（含有铂、铑、钯等贵重金属及其氧化物）和助催化剂（稀土材料）组成。所谓三元，是指这种装置可同时将碳氢化合物、一氧化碳（CO）和氮氧化物（NO_x）三种主要污染物通过氧化或还原反应转化为无害物质。

当高温的汽车尾气通过净化装置时，催化剂将增强一氧化碳、碳氢化合物和氮氧化物三种气体的活性，促使其进行一定的氧化还原反应。其中，一氧化碳在高温下被氧化成无色、无毒的二氧化碳气体，碳氢化合物在高温下被氧化成水和二氧化碳，氮氧化物转化为氮气和氧气。因此，这三种对人体健康有害的气体都变成了无害气体，汽车尾气得以净化。

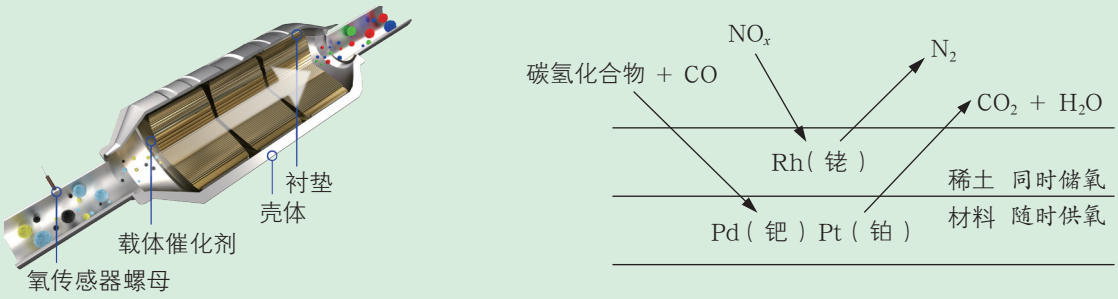


图2-4-4　三元催化器及其工作原理示意图

从化学反应中能量变化的角度选择汽车燃料时，既要考虑燃料发生的化学反应所能释放能量的多少，也要考虑达到燃料燃点时需要吸收能量的多少，还要考虑燃料的来源、价格以及生成物对环境的影响等因素，做到既经济实惠又趋利避害。

项目活动 2　设计安全气囊

安全气囊作为车身被动安全性辅助配置，越来越受到人们的重视。现代安全气囊系统由碰撞传感器、缓冲气囊、气体发生器及其控制系统等组成。

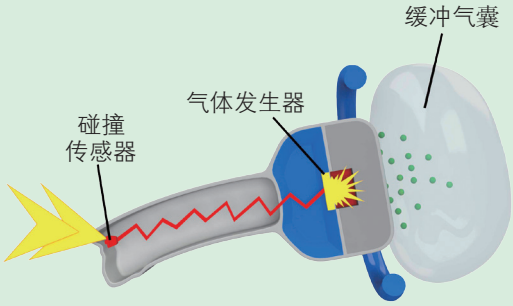


图2-4-5　安全气囊系统示意图

请查阅相关资料，尝试思考解决下列问题。

1. 气体发生器中的物质应具有哪些性质？你能找到哪些符合要求的物质？

2. 目前，叠氮化钠（NaN_3）是在汽车安全气囊系统中普遍使用的物质之一。汽车受到猛烈碰撞时，点火器点火引发叠氮化钠迅速分解，产生氮气和金属钠，同时释放大量的热。如果你是设计师，你会同时在安全气囊系统中加入哪些其他物质？为什么？

方案设计

方案	选择的化学药品	选择化学药品的思路	每种化学药品的作用
1			
2			
3			

3. 通过为安全气囊选择气体发生剂，你对化学反应的利用有了哪些新的认识？

汽车安全气囊系统中使用的作为气体发生剂的物质一般具有生成物清洁、低腐蚀、有毒组分含量低、产气量大、产气快等特点。目前使用的气体发生剂主要由叠氮化钠、三氧化二铁、硝酸铵等物质按一定比例混合而成。叠氮化钠受到撞击后放出的热量被硝酸铵吸收，发生分解反应，生成一氧化二氮气体和水蒸气。同时，金属钠与铁的氧化物反应，生成铁和较为安全的氧化钠。

由此可见，在选择安全气囊的气体发生剂时，不仅要考虑所选物质的性质，还要关注所发生反应中的物质变化、能量变化和反应的化学反应速率，科学、合理地利用化学反应。

通过研究车用燃料及安全气囊，你一定感受到了化学科学在汽车工业发展中的作用。其实，汽车的材料、汽车中的电池等也与化学科学密切相关，有兴趣的同学可以继续研究。

项目成果展示 ▸▸

1. 从材料、燃料、电池、安全等方面制作一份关于汽车中的化学的手抄报。
2. 概括、提炼你在应用化学反应分析和解决实际问题过程中形成的核心思路。

本章自我评价

本章通过对化学键与物质构成、化学反应与能量变化、化学反应的快慢和限度的学习，继续发展“宏观辨识与微观探析”和“证据推理与模型认知”，重点促进“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”等方面化学学科核心素养的发展。请依据下表检查对本章的学习情况。

<table>
<tr><th colspan="2">核心素养发展重点</th><th>学业要求</th></tr>
<tr><td>变化观念与平衡思想</td><td>关注化学反应中的能量变化，丰富对化学变化的认识角度；认识化学反应中物质变化和能量变化的实质，发展对化学变化的微观认识；认识化学反应是有一定限度和速率的，可以通过改变外界条件调控化学反应的限度和快慢；能从物质变化、能量变化等角度利用和调控化学反应。</td><td rowspan="3">1. 能判断简单离子化合物和共价化合物中的化学键类型。能基于化学键解释某些化学反应的能量变化。
2. 能从化学反应快慢和限度的角度解释生产、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状态。能运用变量控制的方法探究化学反应速率的影响因素。能初步解释化学实验和化工生产中反应条件的选择问题。
3. 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，并能分析原电池的工作原理。
4. 能从物质及能量转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。
5. 能列举事实说明化学科学在生产、生活中的应用价值。能对能源的使用方案进行评价。
6. 能主动运用所学的化学知识和方法解决生产、生活中的简单化学问题。在应用化学成果时能主动考虑其对自然和社会带来的可能影响，权衡化学成果在生产、生活中应用的利弊。</td></tr>
<tr><td>科学探究与创新意识</td><td>初步形成实验探究化学反应规律的思路方法，提高利用变量控制思想设计实施实验的能力，发展创造性体验和想象创意能力。</td></tr>
<tr><td>科学态度与社会责任</td><td>体会化学科学对社会发展的贡献，强化绿色化学观念和可持续发展意识。</td></tr>
</table>

学习·理解

1. 下列关于化学反应速率的说法中，错误的是（　　）。

A. 化学反应速率用于衡量化学反应进行的快慢

B. 可逆反应达到化学平衡状态时，正、逆反应的化学反应速率都为零

C. 决定化学反应速率的主要因素是反应物本身的性质

D. 增大反应物浓度、提高反应温度都能提高化学反应速率

2. 19 世纪后期，人们发现炼铁高炉排出的高炉气中含有大量的一氧化碳。有工程师认为，这是由于一氧化碳和铁矿石的接触时间不足造成的，于是英国耗费大量资金建造了一座更高大的炼铁高炉，以延长一氧化碳和铁矿石的接触时间。经检测，用这座高炉炼铁时，高炉气中的一氧化碳含量并没有减少。

（1）请说明其中的原因。

（2）如何理解化学反应速率和化学平衡？研究它们有什么实际意义？从自己所了解的化学事实中举出一些涉及化学反应速率问题的实例。

3. 通过本章的学习，你对化学反应有了哪些新的认识？请用图示的方法描述本章主要内容之间的相互联系。

4. 通过前面内容的学习，你一定对物质有了更加深刻的认识。请从不同的角度阐述你对物质组成、结构和分类的认识。

应用 · 实践

5. 下列物质中，属于共价化合物的是（　　）。

A. Na_2O　　B. NaCl　　C. HCl　　D. NaOH

6. 利用元素周期表确定 NaF、NO_2、CH_4、Na_2S 中化学键的类型，并说明理由。

7. 下列化学反应中，可以用来设计原电池的是（　　）。

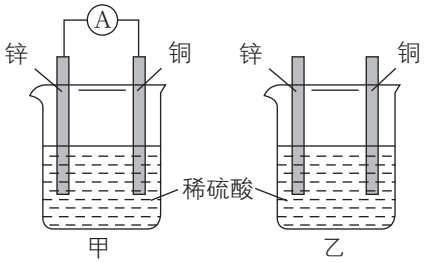
A. $CaCO_3 + 2HCl = CaCl_2 + H_2O + CO_2\uparrow$

B. $Zn + CuSO_4 = Cu + ZnSO_4$

C. $2H_2 + O_2 = 2H_2O$

D. $2NaOH + CuSO_4 = Cu(OH)_2\downarrow + Na_2SO_4$

8. 现有如图所示的甲、乙两装置，下列说法中，正确的是（　　）。



第8题图

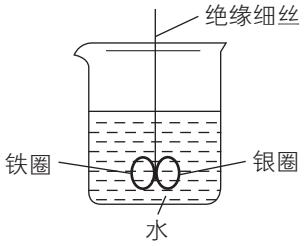
A. 甲装置中铜片是正极材料

B. 乙装置中锌片是负极反应物

C. 两装置中，铜片表面均无气泡产生

D. 甲装置中，铜片上发生的电极反应为 $Cu - 2e^- = Cu^{2+}$

9. 如图所示，烧杯中盛有水，铁圈和银圈直接相连，在接头处用一根绝缘细丝吊住并使之平衡。小心地向烧杯中央滴入 $CuSO_4$ 溶液，反应一段时间后观察到的现象是（　　）。



第9题图

A. 两圈仍保持平衡　　B. 有气泡产生，两圈摇摆不定

C. 铁圈向下倾斜　　D. 银圈向下倾斜

10. 在锌与某浓度的盐酸反应的实验中，得到如下结果：

实验序号	锌的质量/g	锌的形状	温度/℃	锌完全溶解于酸的时间/s
1	2	薄片	15	200
2	2	粉末	15	t_2
3	2	粉末	35	t_3

下列说法中，正确的是（　　）。

① $t_2 > t_3$　　② $t_2 < 200$

③ 实验 2 和实验 3 比较，单位时间内消耗的锌的质量：$m_2 > m_3$

A. 只有①　　B. ①②　　C. 只有②　　D. ②③

11. 某化学反应 $2A \rightleftharpoons B + C$ 在三种不同条件下进行，B、C 的起始浓度为 0，反应物 A 的浓度（$mol \cdot L^{-1}$）随反应时间（min）的变化情况见下表，表中温度的单位为摄氏度（℃）。

实验序号	时间 / 浓度 / 温度	0	10	20	30	40	50	60
1	800	1.0	0.80	0.67	0.57	0.50	0.50	0.50
2	800	1.0	0.60	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
3	820	1.0	0.40	0.25	0.20	0.20	0.20	0.20

根据上述数据，回答下列问题。

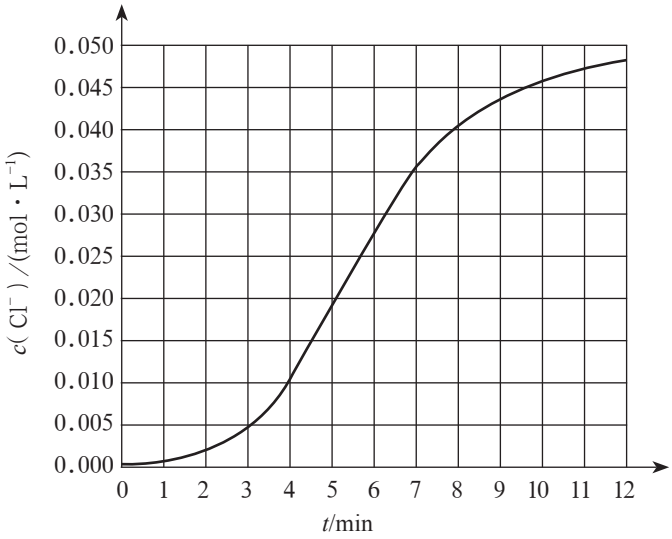
（1）在实验 1、2 中，有一个实验使用了催化剂。请利用表中数据判断哪个实验使用了催化剂，并说明理由。

（2）根据表中数据可知，实验 3 一定达到化学平衡状态的时间是（　　）。

A. 10 min 后　　B. 20 min 后　　C. 30 min 后

迁移·创新

12. 某化学小组欲测定 $KClO_3$ 溶液与 $NaHSO_3$ 溶液反应的化学反应速率，所用试剂为 10 mL 0.1 $mol \cdot L^{-1}$ $KClO_3$ 溶液和 10 mL 0.3 $mol \cdot L^{-1}$ $NaHSO_3$ 溶液，所得实验数据如图所示。



第12题图

已知：$ClO_3^- + 3HSO_3^- = Cl^- + 3SO_4^{2-} + 3H^+$。

（1）该反应在 0 ~ 4 min 的化学反应速率 $v(Cl^-)$ =_____ $mol \cdot L^{-1} \cdot min^{-1}$。

（2）某同学仔细分析实验数据后发现，在反应过程中该反应的化学反应速率先增大后减小。

ⅰ. 小组同学针对这一现象，通过测定 $c(Cl^-)$ 随时间变化的情况，进一步探究影响因素，具体情况见下表。

方案	假设	实验操作
1	该反应放热，使溶液温度升高，化学反应速率提高	向烧杯中加入 10 mL 0.1 $mol \cdot L^{-1}$ $KClO_3$ 溶液和 10 mL 0.3 $mol \cdot L^{-1}$ $NaHSO_3$ 溶液，_____
2	_____	取 10 mL 0.1 $mol \cdot L^{-1}$ $KClO_3$ 溶液加入烧杯中，向其中加入少量氯化钠固体，再加入 10 mL 0.3 $mol \cdot L^{-1}$ $NaHSO_3$ 溶液
3	溶液酸性增强，加快了化学反应速率	分别向标号为①②的两只烧杯中加入 10 mL 0.1 $mol \cdot L^{-1}$ $KClO_3$ 溶液；向烧杯①中加入 1 mL 水，向烧杯②中加入 1 mL 0.2 $mol \cdot L^{-1}$ 盐酸；然后分别向这两只烧杯中加入 10 mL 0.3 $mol \cdot L^{-1}$ $NaHSO_3$ 溶液

① 补全方案 1 中的实验操作：_____。

② 方案 2 中的假设为 _____。

③ 除方案 1、2、3 中的假设外，还可以提出的假设是 _____。

④ 在已知方案 1 的假设不成立的情况下，某同学从控制变量的角度思考，认为方案 3 中实验操作设计不严谨，请进行改进：_____。

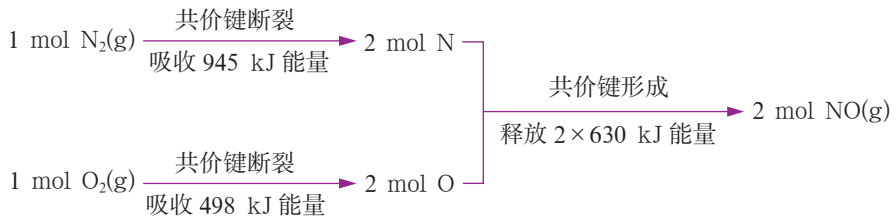
ⅱ. 反应后期，化学反应速率降低的原因是 _____

_____。

13. 汽车尾气主要含有二氧化碳、一氧化碳、二氧化硫、一氧化氮等物质，是造成城市空气污染的主要因素之一。请回答下列问题。

（1）汽车尾气中的一氧化碳来自_____，一氧化氮来自_____。汽车尾气对环境的危害主要有_____（至少填两种）。

（2）氮气和氧气反应生成一氧化氮的能量变化如图所示，则由该反应生成 2 mol NO 时，应_____（填“释放”或“吸收”）_____ kJ 能量。



第13题图

14. 某汽车安全气囊的气体发生剂主要含有叠氮化钠、三氧化二铁、高氯酸钾、碳酸氢钠等物质。

（1）叠氮化钠是气体发生剂，受热分解产生氮气和金属钠。反应的化学方程式为_____。

（2）高氯酸钾是助氧化剂，在反应过程中与金属钠作用生成氯化钾和氧化钠。氧化钠中化学键的类型为_____。

（3）碳酸氢钠的作用是_____。

第3章 简单的有机化合物

第 1 节　认识有机化合物

有机化合物在食品、材料、能源、药物等领域都发挥着举足轻重的作用。目前，在自然界中发现的和由人工合成的有机化合物已达上亿种，而且新的有机化合物仍在不断地被发现或合成出来。化学家研究有机化合物的组成、结构、性质及合成，将研究成果应用于实践，使我们的生活变得越来越美好。

联想 · 质疑

在日常生活中，有机化合物几乎随处可见。你能说出哪些物质是有机化合物吗？想一想，它们在组成和结构上有哪些特点？它们的哪些性质可以被人们利用？

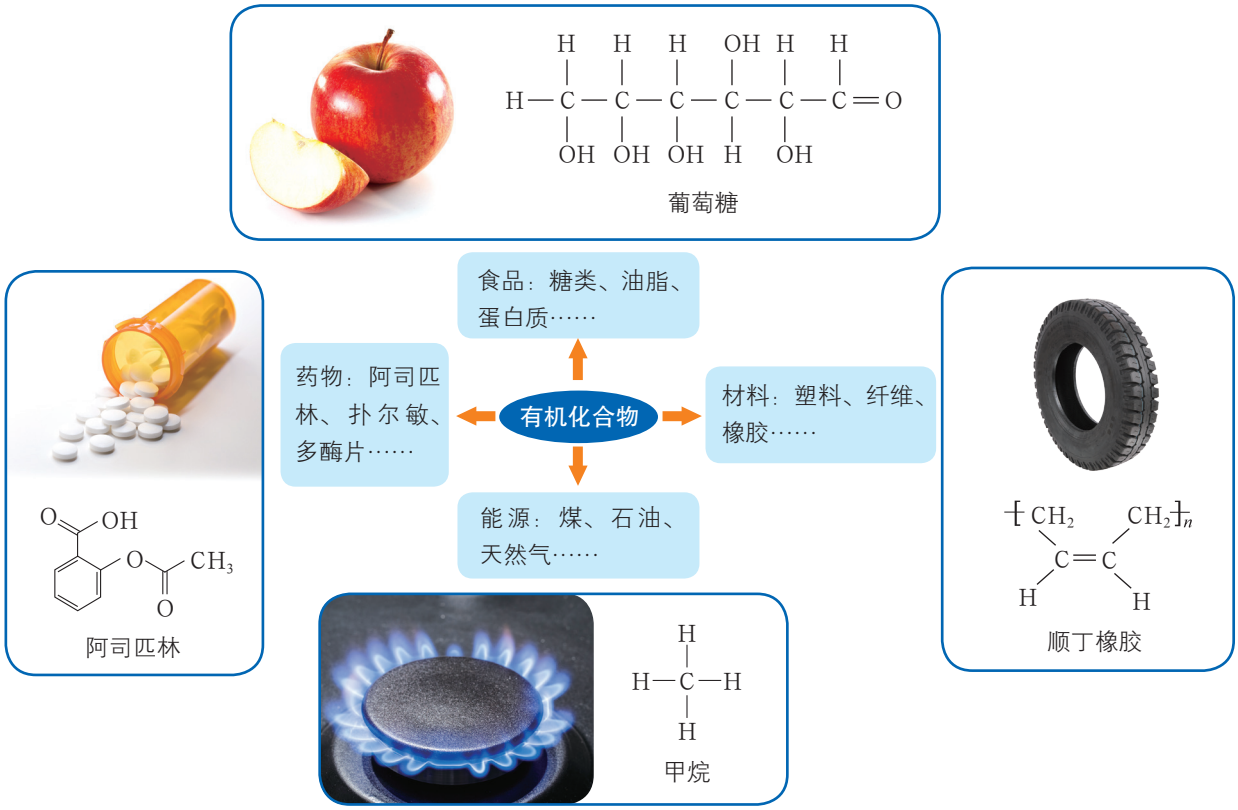


图3-1-1　人类生活、生产中的一些有机化合物

一、认识有机化合物的一般性质

大多数含有碳元素的化合物属于**有机化合物**（organic compound）。有机化合物的应用是由它们的性质决定的，那么，有机化合物的性质又是怎样的呢？

观察 · 思考

有机化合物的性质

生活中的许多物质都是有机化合物或由有机化合物组成的混合物，如酒精、汽油、植物油、聚乙烯塑料等。有机化合物通常会有哪些性质？请通过观察下列实验的现象，了解有机化合物的性质。

【实验 1】用棉签蘸取酒精，涂抹在手上，观察现象并感受能量变化。

【实验 2】向两支试管中加入适量水，然后分别加入体积相近的汽油和酒精，振荡试管，观察现象。

【实验 3】用坩埚钳夹取一片聚乙烯塑料，置于酒精灯火焰上加热至燃烧，观察现象。

【实验 4】向试管中加入适量碘水，再滴入适量植物油，振荡后静置，观察现象。

思考

根据以上实验你能得出哪些结论？这些实验对你认识有机化合物的性质有何启示？

有机化合物的性质有相似之处，如熔点一般较低，常温下多为固态或液态；一般难溶于水，易溶于有机溶剂；绝大多数受热易分解，容易燃烧。这些都是有机化合物区别于无机化合物的一般性质。应当注意的是，有机化合物的性质在某些方面有很大的差异。例如，从挥发性来看，有的易挥发，如乙醇、苯等，有的难挥发，如甘油等；从溶解性来看，大多难溶于水，如四氯化碳等，但有的易溶于水，如乙醇、乙酸等；从热稳定性来看，大多受热易分解，如聚乙烯等，但有的具有较强热稳定性，如酚醛树脂等。另外，许多有机化合物能与特定的物质反应表现出一定的特性，如乙醇可以被高锰酸钾氧化而使紫色酸性 $KMnO_4$ 溶液褪色。

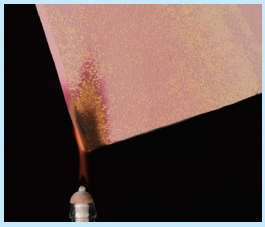
身边的化学

阻燃保温材料

建筑工地曾经会使用大量的聚苯板（主要成分为聚苯乙烯）等保温材料。这些材料存在火灾隐患，而选用阻燃材料是解决这一问题的重要途径。

酚醛树脂泡沫素有“保温材料之王”的美誉，它由热固性酚醛树脂发泡而成，在火中不燃烧、不熔化，是国际上公认的建筑行业中最有发展前途的一种新型阻燃保温材料。

聚苯板燃烧



酚醛树脂泡沫不燃烧

图3-1-2 聚苯板与酚醛树脂泡沫的燃烧现象对比

二、认识有机化合物的结构特点

从组成上看，有机化合物均含有碳元素，大多数有机化合物含有氢、氧元素，有些有机化合物还含有氮、硫、磷、卤素等元素。仅由碳和氢两种元素组成的有机化合物称为**烃**（hydrocarbon），也叫作碳氢化合物。

虽然组成有机化合物的元素种类很少，但有机化合物的种类却多达上亿种。碳原子的成键特点是有机化合物种类繁多的根本原因。

1. 碳原子的成键特点

观察 · 思考

甲烷分子的结构特点

甲烷是最简单的有机化合物，其分子式为 CH_4。观察甲烷分子的球棍模型及空间填充模型。

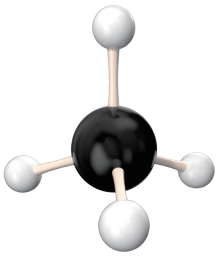


图3-1-3 甲烷分子的球棍模型

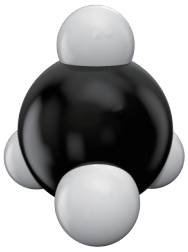


图3-1-4 甲烷分子的空间填充模型

球棍模型能够表示分子的空间结构和分子内原子之间的成键类型。球棍模型中，“球”表示原子，“棍”表示共价键。

空间填充模型可以表示分子的空间结构。

思考

1. 甲烷分子中，碳原子与氢原子是怎样形成化学键的？甲烷分子是平面的还是立体的？
2. 请尝试从碳原子的结构特点解释碳、氢原子形成化学键的原因。

有机化合物分子都含有碳原子。碳原子的最外层有 4 个电子，它不易失去或得到电子形成离子，通常通过共价键与其他原子结合。

甲烷分子中，碳原子最外层的 4 个电子分别与 4 个氢原子的核外电子形成 4 对共用电子，即碳原子与 4 个氢原子形成 4 个共价单键（成键两原子共用一对电子形成的共价键）。甲烷分子中的 5 个原子不在同一平面内，而是形成了一个正四面体形的结构：碳原子位于正四面体的中心，4 个氢原子分别位于正四面体的 4 个顶点，任意两个碳氢键之间的夹角均为 109° 28′。甲烷分子的正四面体形空间结构已通过 X 射线衍射技术得到证实。

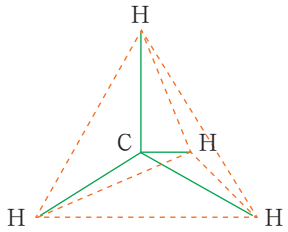


图3-1-5　甲烷分子的空间结构示意图

碳原子不仅可以通过共价键与氢原子结合形成分子，还可以彼此之间通过共价键构成碳链或碳环，形成含有更多碳原子的分子。

活动 · 探究

学生必做实验

搭建有机化合物分子的球棍模型

实验目的

通过搭建有机化合物分子的球棍模型，认识有机化合物的结构特点。

实验用品

有机化合物分子球棍模型搭建配套学具，或简单易得的替代用品，如橡皮泥、牙签、火柴等。

实验步骤

试用不同颜色的小球分别代表碳原子、氢原子、氧原子和氯原子等，按下列要求动手搭建有机化合物分子的球棍模型，并写出相应有机化合物分子的结构式或结构简式。

1. 搭建甲烷分子的球棍模型。

2. 尽可能多地搭建含两个或三个碳原子的烃分子的球棍模型。

3. 在甲烷分子球棍模型的基础上搭建下列有机化合物分子的球棍模型：一氯甲烷（CH_3Cl）、乙醇（CH_3CH_2OH）和乙酸（CH_3COOH）。

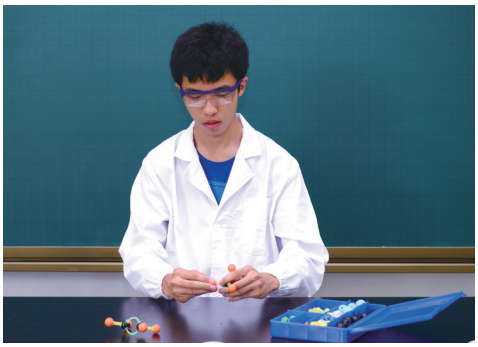


图3-1-6　学生在搭建有机化合物分子的球棍模型

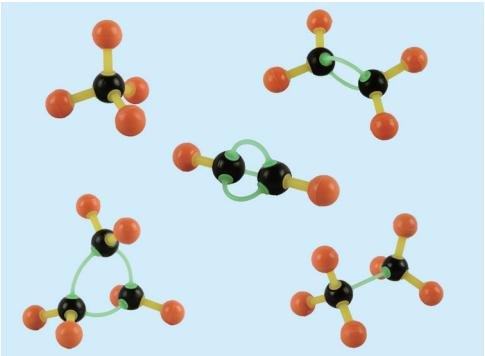


图3-1-7　学生搭建的球棍模型作品示例

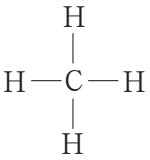
思考

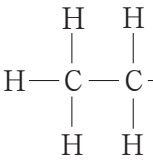
在有机化合物分子中，碳原子可能以哪些成键方式满足“碳四价”原则？

方法导引

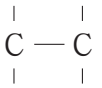
有机化合物的结构式书写及命名方法

结构式是用元素符号和短线“—”表示分子中原子的排列顺序和成键方式的式子。结构式只能表示分子中原子的连接顺序，不能表示分子的真实空间结构。将结构式中表示单键的短线“—”省略后的式子称为结构简式。例如：

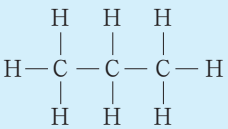
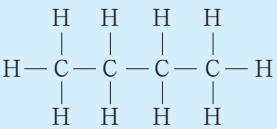
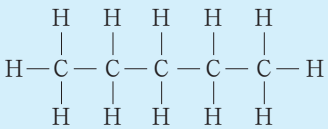
甲烷的结构式为  ，结构简式为 CH_4；

乙烷的结构式为  ，结构简式为 CH_3CH_3。

简单的有机化合物（分子不含支链）通常按分子含有的碳原子数来命名。以烷烃为例，用甲、乙、丙、丁、戊、己、庚、辛、壬、癸分别命名分子中碳原子数为 1 ~ 10 的烷烃，如 CH_4 叫作甲烷、CH_3CH_3 叫作乙烷，依次类推；分子中碳原子数在 10 以上的烷烃则用中文数字命名，如 $CH_3(CH_2)_9CH_3$ 叫作十一烷。

研究证明，碳原子之间可以通过单键（  ，碳原子之间以一对共用电子形成的共价键）结合，也可以通过双键（，碳原子之间以两对共用电子形成的共价键）和三键（$-C\equiv C-$，碳原子之间以三对共用电子形成的共价键）结合；分子中有 3 个或 3 个以上碳原子时，碳原子之间还可以形成碳环。

烃分子中，碳原子之间都以单键结合成碳链，碳原子的剩余价键均与氢原子结合，这样的烃称为**烷烃**（alkane），如甲烷、乙烷、丙烷、丁烷、戊烷等。烷烃分子中每个碳原子的最外层电子都被充分利用，达到“饱和”状态，因此这样的烃也叫作饱和链烃。烷烃在结构上的相似性决定了它们的化学性质也相似。

	丙烷	丁烷	戊烷
结构式			
结构简式	$CH_3CH_2CH_3$	$CH_3CH_2CH_2CH_3$	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_3$

乙烯分子中，碳原子之间以双键结合形成碳链；乙炔分子中，碳原子之间以三键结合形成碳链。乙烯、乙炔分子中，碳原子还有能与氢原子结合的价键，每个碳原子的最外层电子没有被充分利用，即没有达到“饱和”状态，这样的烃叫作不饱和链烃。

分子式为 C_4H_8 的烃，碳原子之间形成碳环时，这种烃称为环丁烷，其结构简式为 $\begin{array}{l} CH_2-CH_2 \\ |\qquad\quad| \\ CH_2-CH_2 \end{array}$。像环丁烷这样，分子中有碳环（碳原子之间以共价键相连形成的环）的烃称为环烃。环烃的种类也很丰富。

由于碳原子之间成键方式的不同，乙烷分子的空间结构中，同一个碳原子上的碳碳单键和三个碳氢键中，任意两个键之间的夹角都近似于甲烷分子中碳氢键的键角；乙烯分子中所有原子都在同一平面内，同一个碳原子上的碳碳双键和两个碳氢键中，任意两个键之间的夹角都约为 120°；乙炔分子是直线形分子，碳碳三键和碳氢键之间的夹角为 180°。

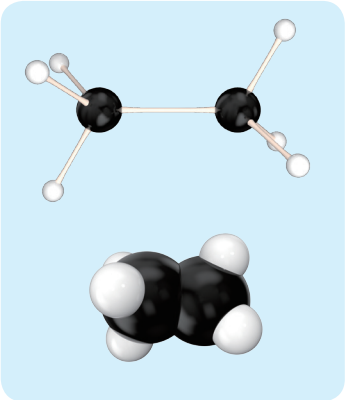


图3-1-8　乙烷分子的球棍模型和空间填充模型

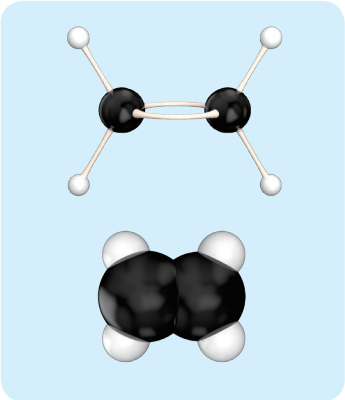


图3-1-9　乙烯分子的球棍模型和空间填充模型

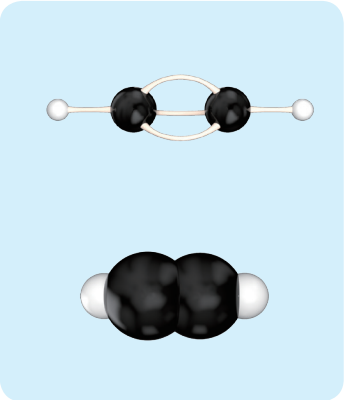
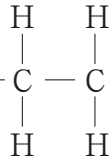


图3-1-10　乙炔分子的球棍模型和空间填充模型

根据烷烃的结构特点可以推断，相邻烷烃分子在组成上均相差一个 CH_2 原子团。如果烷烃分子中的碳原子数为 n，则氢原子数为 $2n+2$，因此烷烃的分子式可以用通式 C_nH_{2n+2} 表示。像这种结构相似、分子组成相差一个或若干个 CH_2 原子团的有机化合物互称为**同系物**（homologous series）。

碳原子除了彼此之间以及与氢原子形成共价键外，也可以与卤素、氧、氮等其他元素的原子形成共价键，如一氯甲烷分子中的碳氯键（$\begin{array}{c} H \\ | \\ H-C-Cl \\ | \\ H \end{array}$）、乙醇分子中的碳氧

键（  ）、氨基酸分子中的碳氮键等。有机化合物分子中的碳碳键、碳氢键，与碳原子和其他原子（如 Cl、O、N 等）形成的共价键之间，可以通过化学反应相互转化。

拓展视野

神奇的分子器件和分子机器

在发现碳原子成键特点之后，化学家根据人们的需求相继合成了许多结构有趣、功能神奇的有机化合物，这些有机化合物被称为分子器件或分子机器。

图 3-1-11 所示的是法国图卢兹材料设计和结构研究中心与德国柏林大学合作研制出的一个分子器件——分子轮。这个神奇的分子包括两个直径为 0.7 nm 的“车轮”（由三苯基甲基组成），被固定在长为 0.6 nm 的轴上。用特殊方法将分子轮置于铜基表面后，操纵者可以通过扫描隧道显微镜控制分子轮的转动。分子轮可以应用到复杂的分子机器（如分子纳米机器人）中，用于在人体细胞内清除病灶、充当药物运输载体等。

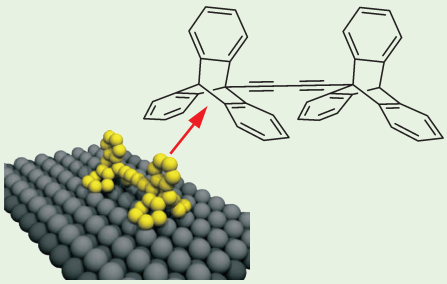


图3-1-11 分子轮

图 3-1-12 所示的是美国莱斯大学研究团队利用纳米技术制造出来的一辆纳米车。和真正的汽车一样，这种纳米车拥有底盘、车轴以及能够转动的轮子。它们的体积如此之小，即使 2 万辆纳米车并排行驶在一根头发粗的“道路”上，也不会发生“交通拥堵”。纳米车的轮子由球形的富勒烯构成，车轴中则有较多的苯环和碳碳三键，保证了分子空间结构的稳定性。纳米车的合成思路与有机药物分子的合成思路相似，但步骤更多且合成比较困难，目前产率比较低。

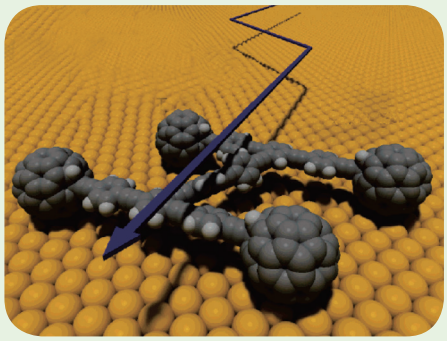
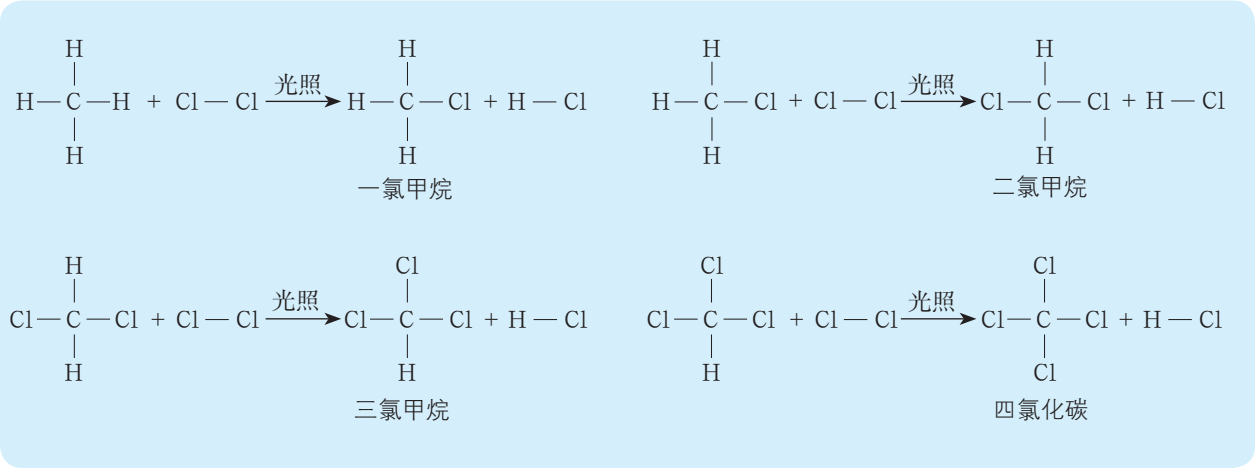


图3-1-12 纳米车

交流 · 研讨

甲烷在光照条件下可与氯气发生反应，生成一氯甲烷、二氯甲烷、三氯甲烷和四氯化碳等。其中，二氯甲烷、四氯化碳是常用的有机溶剂，三氯甲烷曾被用作外科手术的麻醉剂。请根据四步反应的化学方程式分析反应中化学键的变化情况。



有机化合物参加的反应往往比较复杂，常有副反应发生。因此，有机化学反应的化学方程式中，常用“⟶”代替“═══”。

甲烷与足量氯气发生反应时，甲烷分子中的碳氢键都能转变为碳氯键，甲烷最终转化成四氯化碳。这说明物质可以通过化学反应实现键的转变，最终转化为其他物质。

在上述反应中，甲烷分子中的氢原子被氯原子代替。像这样，有机化合物分子里的某些原子（或原子团）被其他原子（或原子团）代替的反应叫作**取代反应**（substitution reaction）。

2. 有机化合物中的官能团

观察 · 思考

水垢的去除

家中水壶结有较多水垢时，用适量白醋（含乙酸）浸泡，或用加入少量柠檬汁（含柠檬酸）的清水浸泡，均可起到去除水垢的作用。现用碳酸钙模拟水垢成分，进行如图 3-1-13 所示的实验，观察现象。

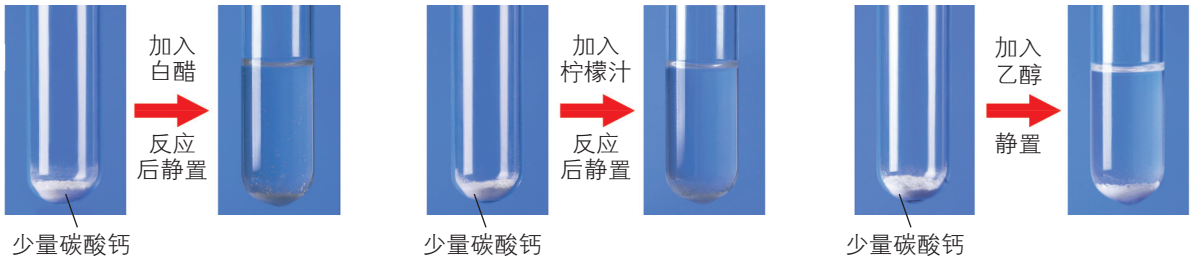
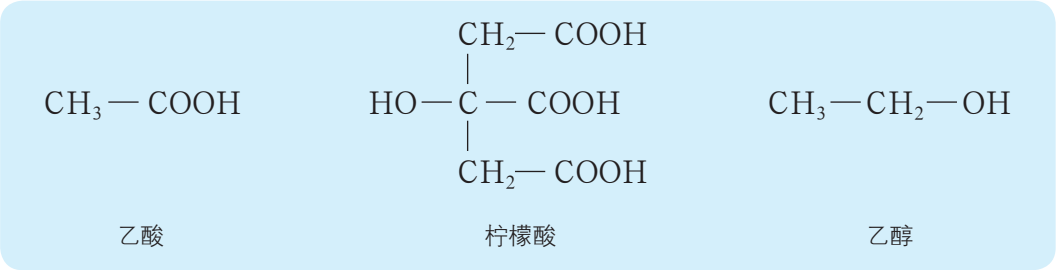


图3-1-13 模拟除水垢实验

已知白醋中的乙酸（俗称醋酸）、柠檬汁中的柠檬酸均能表现出酸性，而乙醇不具有酸性，三者的结构简式如下：



思考

分析乙酸、柠檬酸和乙醇的结构简式，结合实验现象推断乙酸、柠檬酸分子中能使其表现出酸性的原子或原子团。

物质的结构决定物质的性质。乙酸和柠檬酸分子均含有特殊的原子团——羧基（$-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OH$），正是羧基决定了这两种物质均具有酸性。有机化合物分子中，像羧基这样比较活泼、容易发生反应并决定着某类有机化合物共同特性的原子或原子团称为**官能团**（functional group）。

掌握有关官能团的知识，可以帮助我们更好地认识有机化合物的结构和性质。部分常见官能团的结构、名称及对应的有机化合物示例见表 3-1-1。

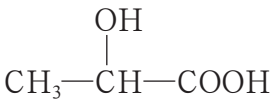
表3-1-1 部分常见官能团的结构、名称及对应的有机化合物示例

官能团的结构	官能团的名称	有机化合物示例
$>C=C<$	碳碳双键	$CH_2=CH_2$ 乙烯
$-O-H$	羟基	C_2H_5-O-H 乙醇
$-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-O-H$	羧基	$CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-O-H$ 乙酸
$-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-O-R$	酯基	$CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-O-C_2H_5$ 乙酸乙酯

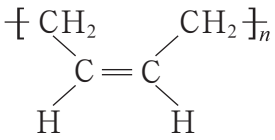
表 3-1-1 中，醇、羧酸、酯等有机化合物的分子含有除碳、氢之外的其他元素原子。这些有机化合物可看作烃分子中的氢原子被其他原子或原子团代替后的产物，我们将这样的有机化合物统称为**烃的衍生物**（derivative of hydrocarbon）。

迁移 · 应用

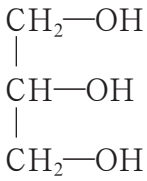
生产和生活中许多有重要用途的有机化合物结构较复杂，它们的分子含有一些常见官能团。请标示出下列有机化合物分子中的官能团并写出其名称。



乳酸



顺丁橡胶



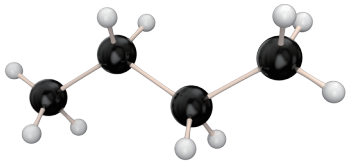
甘油

有机化合物的分子结构通常包括碳骨架与官能团两部分，其中官能团决定着有机化合物的化学特性。随着学习的深入，我们会接触越来越多的有机化合物，认识它们的官能团及化学特性，并利用它们的化学特性对其进行鉴别、分离和提纯等。

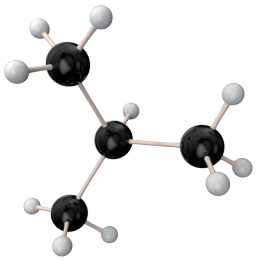
3. 同分异构现象和同分异构体

在研究分子式为 C_4H_{10} 的烷烃的组成和性质时，人们发现 C_4H_{10} 表示的烷烃有两种。这两种烷烃的组成和相对分子质量完全相同，但性质却有一定的差异，如它们的熔点分别为 −138.4 ℃和 −159.6 ℃、沸点分别为 −0.5 ℃和 −11.7 ℃。为什么会出现这种情况呢？进一步研究发现，这两种分子式为 C_4H_{10} 的烷烃分子中原子的结合顺序不同，即分子结构不同，从而导致它们的性质存在差异。它们是两种不同的有机化合物——正丁烷和异丁烷。

正丁烷和异丁烷分子的组成相同但结构不同（图 3-1-14）。正丁烷分子中的碳原子相互结合形成一条直链，而异丁烷分子中的碳原子相互结合形成的碳链带有支链，正是分子结构的不同才造成二者性质上的差异。



正丁烷



异丁烷

图3-1-14　分子式为C_4H_{10}的烷烃的两种同分异构体的球棍模型

交流 · 研讨

请你与组内同学合作，用不同颜色和大小的小球分别代表碳原子和氢原子，尽可能多地搭建符合以下两种分子式的烷烃分子的球棍模型，并将相应的结构式和结构简式填入下表。

分子式	结构式	结构简式
C_4H_{10}		
C_5H_{12}		

讨论

比较搭建出来的两组模型，说出它们在分子结构上的相似之处和不同之处。

两种或多种化合物具有相同的分子式而具有不同结构的现象称为**同分异构现象**（isomerism）；分子式相同而结构不同的化合物互称为**同分异构体**（isomer）。

一般来说，烷烃分子中的碳原子越多，它的同分异构体就越多。例如，五碳烷烃（C_5H_{12}）有三种同分异构体，比四碳烷烃的同分异构体要多。在有机化合物中，同分异构现象非常普遍。

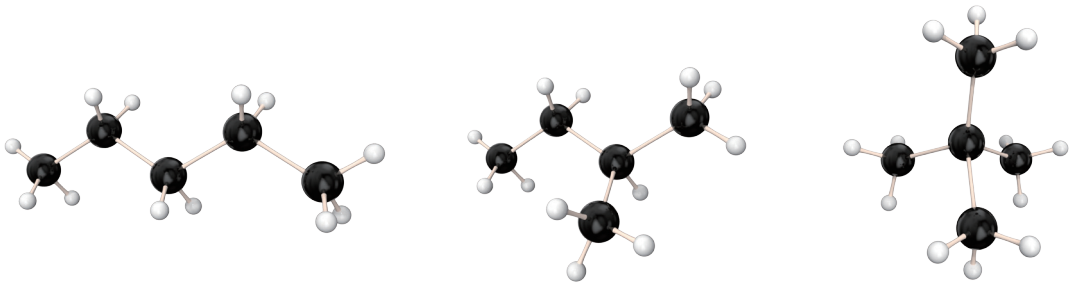
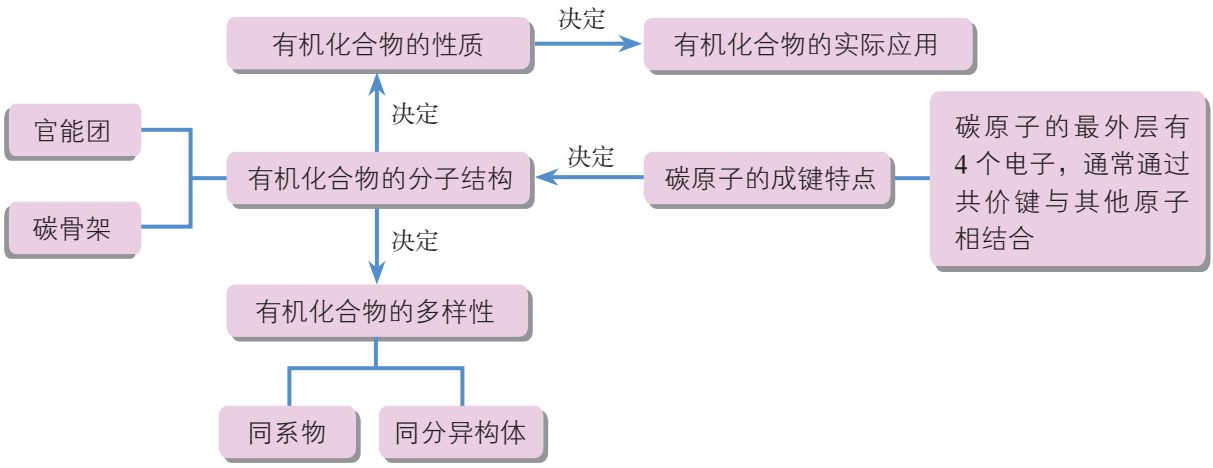


图3-1-15　分子式为C_5H_{12}的烷烃的三种同分异构体的球棍模型

概括 · 整合

1. 归纳总结碳原子的成键特点、有机化合物的分子结构与有机化合物的性质之间的关系，示例如下：



2. 用碳原子的结构及成键特点解释有机化合物种类繁多的原因。
3. 简述官能团在有机化合物分子结构中的重要地位。
4. 归纳总结同分异构体的判断方法及结构式（或结构简式）的书写方法。

练习与活动

学习 · 理解

1. 下列关于有机化合物的说法中，正确的是（　　）。

A. 凡是含碳元素的化合物都属于有机化合物

B. 易溶于汽油、酒精、苯等有机溶剂的物质一定是有机化合物

C. 所有的有机化合物都很容易燃烧

D. 有机化合物的同分异构现象是有机化合物种类繁多的主要原因之一

2. 下列物质中，属于有机化合物的是_____，属于烃的是_____，属于烃的衍生物的是_____。（填序号）

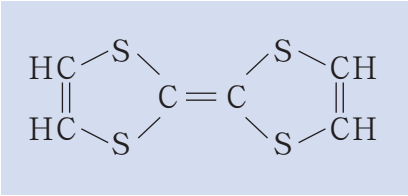
① H_2S　② C_2H_2　③ CH_3Cl　④ C_2H_5OH　⑤ CH_4

⑥ H_2　⑦ 金刚石　⑧ CH_3COOH　⑨ CO_2　⑩ C_2H_4

其中，C_2H_5OH 的官能团是_____，CH_3COOH 的官能团是_____。

应用·实践

3. 用于制造隐形飞机的某种物质具有吸收微波的功能，其主要成分的结构简式如图所示。



第3题图

（1）该物质属于（　　）。

A. 烃　　B. 烷烃

C. 有机化合物　　D. 无机物

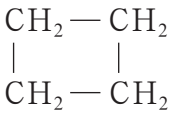
（2）该物质的分子含有的单键为_____，含有的双键为_____。（用化学符号表示，如碳碳单键表示为“C—C”）

4. 下列物质中，互为同分异构体的是_____，互为同系物的是_____。（填序号）

① $CH_3CH_2CH_2CH_3$　　② $CH_3CH_2CH(CH_3)CH_3$

③ $CH_3CH_2CH_3$　　④ $CH_3CH_2CH_2CH_2CH_3$

5. 判断下列各组中的两种物质是否属于同分异构体，并说明判断的原因。

（1）$CH_2{=}CH{-}CH_2{-}CH_3$ 与 

（2）$CH_3{-}CH(CH_3){-}CH_2{-}CH_3$ 与 $CH_3{-}CH(CH_3){-}CH(CH_3){-}CH_3$

6. 记号笔通常分水性和油性两种，二者所使用的颜料分别为无机颜料和有机颜料。使用时发现，水性笔书写在白板上的笔迹用湿抹布即可擦去，而油性笔的笔迹则需要用汽油等有机溶剂才能擦掉，试解释原因。

7. 调查分析。

看看家里的物品哪些主要是由有机化合物构成的。查阅相关说明书，写出这些有机化合物的分子式或结构式，并标出其中的官能团。

第 2 节　从化石燃料中获取有机化合物

天然气、石油和煤不仅是重要的化石燃料，而且是重要的化工原料。石油和煤分别被誉为“工业的血液”和“工业的粮食”，可见它们在国民经济发展中的重要地位。天然气、石油和煤的主要成分都是有机化合物。

联想 · 质疑

天然气和煤为什么可直接用作燃料？将大量煤直接用作燃料可能产生什么问题？如何从石油中提炼汽油、柴油等燃料？怎样利用石油和煤获取有机化工原料，进而合成用途各异的有机化合物？

图3-2-1　天然气客车

图3-2-2　加油机

图3-2-3　工业燃煤气化炉

一、从天然气、石油和煤中获取燃料

化石燃料又叫作矿石燃料、矿物燃料，是指埋藏在地下不同地质年代的动植物遗体经历漫长地质条件的变化，在温度、压力和微生物等条件的作用下形成的一类可燃性矿物，属于不可再生能源。化石燃料的利用使工业大规模发展，推动了人类社会的进步。但随着全球现代化步伐的加快，一方面化石燃料存在着逐渐枯竭的危机；另一方面化石燃料燃烧所产生的二氧化碳加剧了温室效应，所排放的一些有毒气体和粉尘污染了环境。这些问题引起了世界各国的关注。我国将积极稳妥推进碳达峰碳中和。立足自身能源资源禀赋，坚持先立后破，有计划分步骤实施碳达峰行动，积极参与应对气候变化全球治理。

1. 天然气和煤直接用作燃料

天然气的主要成分是甲烷（含量为 80% ~ 97%），天然气水合物——可燃冰的主要成分也是甲烷。

甲烷（methane）是一种无色无味的气体，密度为 0.717 $g \cdot L^{-1}$（STP），难溶于水。甲烷能够燃烧，充分燃烧时的产物是二氧化碳和水。

$$CH_4 + 2O_2 \xrightarrow{\text{点燃}} CO_2 + 2H_2O$$

通常状况下，1 mol 甲烷充分燃烧可放出 890.3 kJ 的热量，与相同状况下的一氧化碳和氢气相比，甲烷燃烧时放出的热量更多。以甲烷为主要成分的天然气是一种优良的气体燃料。

煤是由有机化合物和无机物组成的复杂混合物。其中，有机化合物除了含有碳、氢元素外，还含有少量的氧、氮、硫等元素；无机物主要含有硅、铝、钙、铁等元素。

直接烧煤可得到人们所需要的能量，但同时也会产生一些大气污染物，如硫的氧化物、氮的氧化物、烟尘等，因此我国许多城市禁止直接将散煤用作燃料。如何降低燃煤污染、提高燃煤的热效率，尤其是如何从煤中提取有关物质并将其转化成有价值的化工原料，即煤的综合利用，成为化学家致力研究的问题。

化学与技术

可燃冰的开采

可燃冰是由天然气与水在高压低温条件下形成的类冰状的结晶物质。可燃冰分布于深海沉积物或陆域的永久冻土中，因其外观像冰且遇火即可燃烧而得名。可燃冰储量巨大，被国际公认为石油、天然气的接替能源。

因可燃冰绝大部分埋藏于海底，故开采难度巨大。目前，许多国家都在加紧对这种未来能源进行试开采，但都未能实现或未达到连续产气的预定目标。2017 年 5 月，我国科学家利用自主研发的一套水、沙、气分离核心技术将可燃冰从深海中取出，成功实现了海域可燃冰开采，使我国在世界可燃冰的开发上处于领跑地位。可燃冰的开采利用将会推动整个世界能源利用格局的改变。

图3-2-4 可燃冰开采现场

2. 从石油中获取燃料

石油是由分子含有不同数目碳原子的烷烃、环烷烃等组成的复杂混合物。通常，碳元素、氢元素在石油中的质量分数之和高达 98%。

图3-2-5　石油分馏塔

从矿井里开采出来的石油经过脱水、脱盐处理后，得到的烃类混合物的各种成分的沸点不同，因此可以利用这一特点将其分离出来。加热液态烃类混合物时，沸点较低的烃（分子中碳原子数较少）先汽化，其蒸气经冷凝后变为液体，首先从混合物里分离出来；随着温度的升高，沸点较高的烃（分子中碳原子数较多）再汽化，经过冷凝也被分离出来。这样，通过加热和冷凝，可以把石油分离成沸点范围不同的产物，这种方法叫作石油的**分馏**（fractional distillation）。不难看出，石油的分馏产物仍然是一些混合物。

在工业上，石油的分馏是在分馏塔里进行的。分馏塔的基本构造、不同部位的产物及其主要用途如图 3-2-6 所示。

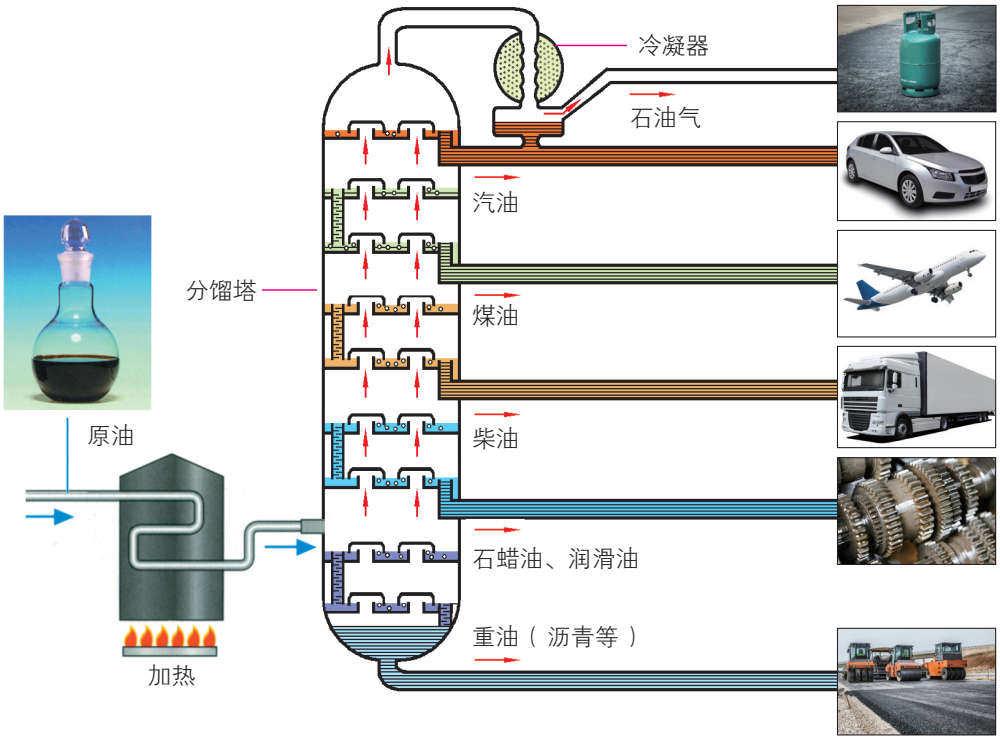


图3-2-6　石油分馏产物及其主要用途

石油经过分馏以后得到的主要产物有石油气、汽油、煤油、柴油及重油等，它们既可用作燃料，又可应用于材料、医药、环境等诸多领域。

石油分馏获得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和质量，工业上在一定条件（加热、使用催化剂）下，把相对分子质量较大、沸点较高的烃分解为相对分子质量较小、沸点较低的烃，这种方法称为**裂化**（cracking）。例如，十六烷的一种裂化方式为：

$$\underset{\text{十六烷}}{C_{16}H_{34}} \xrightarrow[\triangle]{\text{催化剂}} \underset{\text{辛烷}}{C_8H_{18}} + \underset{\text{辛烯}}{C_8H_{16}}$$

液化石油气、汽油、煤油等石油分馏产物用作燃料时，其中的烃燃烧放出大量的热，充分燃烧时的产物是二氧化碳和水。以辛烷为例，燃烧时所发生反应的化学方程式为：

$$2C_8H_{18} + 25O_2 \xrightarrow{\text{点燃}} 16CO_2 + 18H_2O$$

身边的化学

汽油的标号和辛烷值

加油站里的汽油有不同的标号，如 92 号、95 号等。汽油的标号与其辛烷值相同。辛烷值是衡量汽油在气缸内抗爆震能力的一种数字指标，其值越高表示抗爆性越好。

与辛烷分子式相同的异辛烷（$CH_3-\underset{\underset{CH_3}{|}}{\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}}-CH_2-\overset{\overset{CH_3}{|}}{CH}-CH_3$），其抗爆震能力很强，人们便将其辛烷值规定为 100；同时，将抗爆震能力较弱的正庚烷的辛烷值规定为 0。将上述两种烃按不同的体积比混合，可配制成辛烷值为 0 ~ 100 的标准燃料。

测定汽油样品的辛烷值时，保持发动机在相同条件下工作，分别用样品汽油和标准燃料进行测定。若样品和某一组成的标准燃料在发动机内产生同样强度的爆震，即可评定出样品汽油的辛烷值。选择汽油时，并非标号越高越好，要根据发动机的参数要求进行合理选择。

二、石油裂解与乙烯

1. 石油裂解

石油化工生产中，常以石油分馏产物为原料，采用比裂化更高的温度，使其中相对分子质量较大的烃分解成乙烯、丙烯等小分子烃。这些小分子烃可以用作重要的有机化工原料。工业上将这种方法叫作**裂解**（pyrolysis）。石油的裂解气中，乙烯的含量比较高。

观察 · 思考

石蜡的分解

石蜡是石油分馏的产物之一，是由分子中碳原子数为 17 ~ 36 的多种烷烃或环烷烃组成的混合物。取少量石蜡进行实验，将实验现象填入下表。

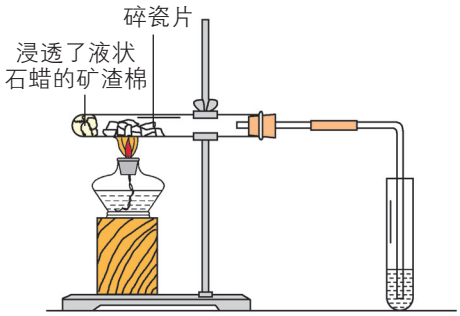


图3-2-7　石蜡分解实验示意图

实验步骤	实验现象
将生成的气体通入酸性 $KMnO_4$ 溶液中	
将生成的气体通入溴的四氯化碳溶液中	

思考

上述实验对你认识石蜡的分解反应有哪些启示？

2. 乙烯

乙烯（ethylene）是无色、稍有气味的气体，密度为 1.25 $g \cdot L^{-1}$（STP），难溶于水。乙烯的分子式为 C_2H_4。从分子式可以看出，一个乙烯分子比一个乙烷（C_2H_6）分子少两个氢原子。乙烯分子里的碳原子之间通过双键结合，碳碳双键是乙烯的官能团。

观察 · 思考

乙烯的化学性质

用乙烯气体进行如下实验，将实验现象及结论记录在下表中。

实验内容	实验现象	实验结论
乙烯在空气中燃烧		
向酸性 $KMnO_4$ 溶液中通入乙烯		
向溴的四氯化碳溶液中通入乙烯		

图3-2-8 探究乙烯化学性质的实验

思考

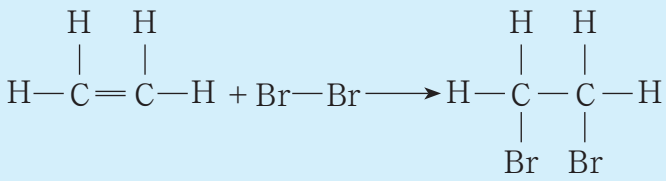
1. 概括乙烯的化学性质。
2. 如果用甲烷进行上述实验，实验现象会有哪些相同或不同之处？

乙烯在空气中燃烧，火焰明亮并伴有黑烟。

$$C_2H_4 + 3O_2 \xrightarrow{\text{点燃}} 2CO_2 + 2H_2O$$

乙烯能使酸性 $KMnO_4$ 溶液很快褪色，这是乙烯在酸性环境中被高锰酸钾氧化的结果，而烷烃却不具有这一性质。

乙烯能使溴的四氯化碳溶液褪色，所发生反应的实质是乙烯分子中碳碳双键（$>C=C<$）中的一个键断裂，两个溴原子分别“加”到原来双键的两个碳原子上。



1,2- 二溴乙烷

像乙烯与溴的反应这样，有机化合物分子中双键上的碳原子与其他原子（或原子团）直接结合生成新的化合物分子的反应属于**加成反应**（addition reaction）。

乙烯除了能与卤素单质发生加成反应外，在一定条件下还能与氢气、卤化氢或水发生加成反应。另外，乙烯还能彼此之间发生加成反应（称加聚反应）形成聚合物——聚乙烯；类似地，还可以制得与乙烯有关的其他聚合物，如聚氯乙烯、聚苯乙烯等。

乙烯是重要的有机化工基础原料，乙烯产品占石化产品总量的 75% 以上，乙烯工业因此成为石油化工产业的核心，在国民经济中占有重要的地位。乙烯的产量被用作衡量一个国家石油化工产业发展水平的标志。随着石油化工产业的发展和现代科学技术水平的提高，以乙烯为原料生产的有机化合物会越来越多。

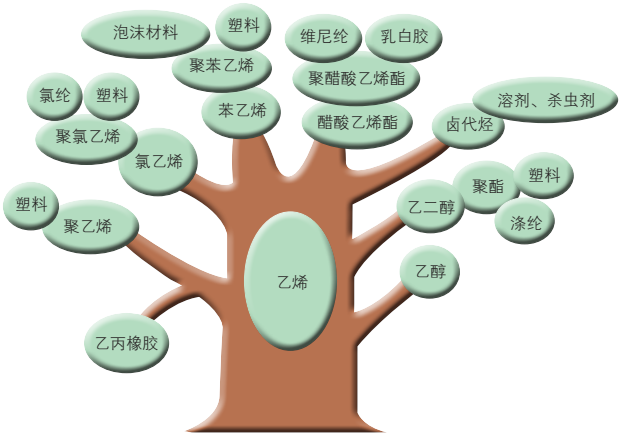


图3-2-9　乙烯用途示意图

三、煤的干馏与苯

1. 煤的干馏

直接将煤用作燃料不仅浪费资源，还会污染环境，通过气化、液化或干馏等方法可以从煤中制得气体或液体燃料、焦炭及各种化工原料等。

将煤隔绝空气加强热使其分解，叫作煤的**干馏**（dry distillation）。表 3-2-1 列出了煤干馏的主要产物和用途。

表3-2-1　煤干馏的主要产物和用途

干馏产物		主要成分	主要用途
出炉煤气	焦炉气	氢气、甲烷、乙烯、一氧化碳	气体燃料、化工原料
	粗氨水	氨气、铵盐	氮肥
	粗苯	苯、甲苯、二甲苯	炸药、染料、医药、农药、合成材料
煤焦油		苯、甲苯、二甲苯	
		酚类、萘	医药、染料、农药、合成材料
		沥青	电极、筑路材料
焦炭		碳	冶金、燃料、合成氨

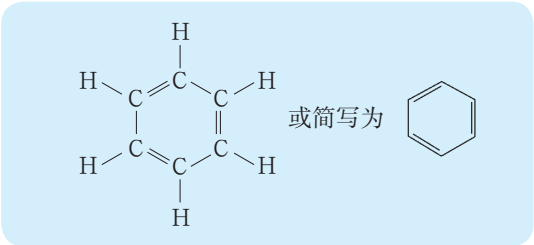
2. 苯

苯是煤干馏的主要产物之一，也是重要的化工原料，可以用来合成多种分子中含有苯环的重要有机化合物。

苯（benzene）是一种无色、有特殊气味、有毒的液体，密度比水小，难溶于水。苯的沸点为 80.5 ℃，易挥发；熔点为 5.5 ℃，当温度低于 5.5 ℃时苯就会凝结成无色的晶体。苯容易燃烧。

苯属于环烃，其分子含有 6 个碳原子，苯的分子式为 C_6H_6。根据结构测定得知，苯分子中的 6 个碳原子和 6 个氢原子都在同一平面内，形成正六边形结构。苯分子中的碳碳键是一种介于碳碳单键和碳碳双键之间的特殊共价键。

德国化学家凯库勒于 1865 年提出苯的分子结构模型，并用下式表示苯的分子结构。苯的这一结构式被称为凯库勒式，一直沿用至今。



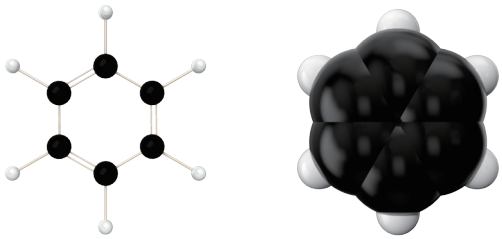


图3-2-10　苯分子的球棍模型和空间填充模型

观察 · 思考

比较苯与乙烯的化学性质

向两支分别盛有少量酸性 $KMnO_4$ 溶液和溴的四氯化碳溶液的试管中滴入苯，振荡试管，静置后观察现象。

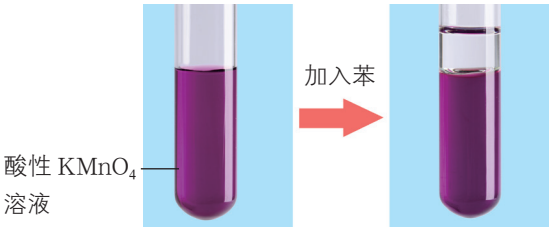


图3-2-11　向酸性$KMnO_4$溶液中加入苯

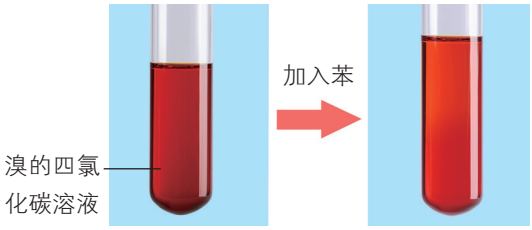
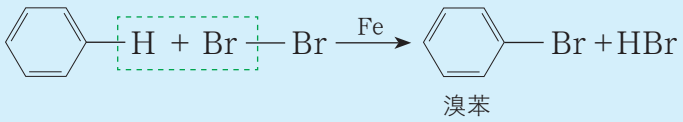


图3-2-12　向溴的四氯化碳溶液中加入苯

思考

苯的化学性质与乙烯的化学性质有哪些不同？

苯不能与酸性 $KMnO_4$ 溶液或溴的四氯化碳溶液反应，它与乙烯在化学性质上有很大的差异。苯分子的特殊结构决定了它具有特殊的性质。苯与液溴在铁粉的作用下可发生取代反应生成溴苯。



苯与溴发生取代反应的产物——溴苯，是医药、染料和材料领域常用的有机合成原料，可用于合成苯乙烯等，由苯乙烯则可以合成聚苯乙烯。

四、有机高分子化合物与有机高分子材料

1. 从乙烯到聚乙烯——认识有机高分子化合物

以乙烯为原料，在适宜的温度、压强和引发剂存在的条件下发生反应可制得聚乙烯。反应时，乙烯分子中碳碳双键中的一个键断裂，分子之间通过碳原子彼此加成相互结合，聚合成很长的碳链，生成聚乙烯。

$$CH_2{=}CH_2 + CH_2{=}CH_2 + CH_2{=}CH_2 + \cdots \xrightarrow{\text{一定条件}^{①}}$$
$$\cdots - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - \cdots$$

这个反应也可以用下式表示：

$$n CH_2{=}CH_2 \xrightarrow{\text{一定条件}} \underset{\text{聚乙烯}}{\left[CH_2 - CH_2 \right]_n}$$

像这样，由相对分子质量较小的有机化合物生成相对分子质量很大的有机化合物的反应，叫作**聚合反应**（polymerization）。像乙烯生成聚乙烯这样的聚合反应也叫作加成聚合反应，简称加聚反应。

聚乙烯与乙烯、苯等相比，其相对分子质量要大得多，从几万到几百万甚至上千万，因此人们将聚乙烯这样的物质称为**高分子化合物**（polymer）。没有特殊说明时，高分子化合物特指有机高分子化合物，简称高分子或聚合物。

高分子通常难溶于水，即使在适当的有机溶剂中溶解得也很缓慢，或者只有一定程度的溶胀。有些高分子（如聚乙烯）具有热塑性，即受热时会变软、流动，受冷时又硬化，

① 聚合反应的发生通常需要一定的引发剂或催化剂。

可通过加热、受冷反复塑造；而有些高分子（如酚醛塑料，俗称“电木”）则具有热固性，即受热时不会变软而只能被裂解，因此不能通过加热、受冷反复塑造。高分子中的原子之间一般是以共价键结合的，因此高分子通常不导电，是很好的绝缘材料。

2. 有机高分子材料

以煤、石油和天然气等为原料可以合成具有不同性质的高分子，以它们为主要原料，加入某些特定的添加剂，经压制、挤压或抽丝等成型加工处理，便可得到各种高分子材料，如塑料、合成橡胶和合成纤维。

> 人类的生产和生活离不开各种各样的材料。无机非金属材料和金属材料统称无机材料；相对于无机材料，材料家族中还有一大类非常重要的材料——有机高分子材料。有机高分子材料按来源可分为天然有机高分子材料和合成有机高分子材料。

交流 · 研讨

1. 梳理身边常见的高分子材料制品，了解它们的材料是塑料、橡胶还是纤维。

2. 基于对这些制品性能的了解，谈谈塑料、橡胶和纤维的性能有哪些相似和不同之处，以及由此决定着它们有哪些用途。

塑料（plastics）的主要成分是高分子化合物，俗称合成树脂。一般情况下，构成塑料的高分子如果是长链的线型结构，塑料的柔韧性就较好；如果高分子链之间形成化学键，产生一定的交联而形成网状结构，塑料就会变硬。

聚乙烯是聚乙烯塑料的主要成分，聚乙烯塑料是当今世界上产量最大的塑料产品。

聚乙烯塑料无臭、无毒；具有优良的耐低温性能，最低使用温度可达 −100 ℃；化学稳定性好，能耐大多数酸、碱的侵蚀；常温下不溶于一般溶剂，吸水性小；电绝缘性能优良。

图3-2-13 用聚乙烯塑料制成的化学实验用品

聚乙烯塑料品种繁多、应用广泛，主要有：薄膜，用作食品、医药、衣物、化肥等的包装材料；中空制品，用作各种瓶、桶、罐、槽等容器材料；管板材，用作地下管道材料和建筑材料；纤维，用于生产渔网、绳索；包覆材料，用作包覆电缆、电线的绝缘材料。

生产塑料的合成树脂种类很多，除聚乙烯外，还有聚氯乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、聚四氟乙烯等。例如，用聚四氟乙烯制作不粘锅或者滑雪板的涂层，用乙烯 − 四氟乙烯共聚物（ETFE 膜）作为水立方的外立面膜结构材料。

不粘锅涂层

滑雪板涂层

水立方外立面膜结构材料

图3-2-14　合成树脂的应用示例

橡胶（rubber）中的高分子链在无外力作用时呈卷曲状且有柔性，受外力时可伸直，撤销外力后又可恢复原状，因此橡胶具有高弹性。根据来源和组成不同，橡胶可分为天然橡胶和合成橡胶。

天然橡胶的化学成分是聚异戊二烯，其结构简式为 $\left[CH_2-\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}=CH-CH_2\right]_n$。

顺丁橡胶（$\left[CH_2-CH=CH-CH_2\right]_n$）是化学家最早模拟天然橡胶制得的合成橡胶，也是当前发展十分迅速的一种通用橡胶，广泛用于制造轮胎、耐寒制品及胶鞋、胶布、海绵胶等。除顺丁橡胶外，丁苯橡胶、氯丁橡胶及一些特种橡胶（如有机硅橡胶）都是合成橡胶。合成橡胶一般具有高弹性、绝缘性以及耐油、耐酸碱、耐高温或低温等特性，因此应用广泛。

图3-2-15　各种橡胶制品

纤维（fiber）是另一种常见的高分子材料。随着人类生活质量的提高，棉花、羊毛、蚕丝等天然纤维在质量、品种和数量上已不能满足人们的需要。为此，化学家经过长期的研究开发，将不能用于纺织的天然纤维加工成黏胶纤维、醋酸纤维等可纺织的人造纤维；或者以天然气、石油化工产品、煤化工产品为原料制成相应的有机小分子化合物，经聚合反应制成线型的高分子化合物，经纺丝成形和后处理而制得合成纤维。例如，用石油裂解气中的丙烯制得丙烯腈（$CH_2=CH-CN$），再由丙烯腈聚合制得聚丙烯腈（$\left[CH_2-\underset{\underset{CN}{|}}{CH}\right]_n$）。聚丙烯腈纤维的商品名称为腈纶，它极似羊毛，蓬松卷曲而柔软，用它制成的毛线和毛毯在手感上与用天然羊毛制得的几乎一样。

在合成纤维大家族里，涤纶、锦纶、腈纶、维尼纶等各种合成纤维都具有比天然纤维和人造纤维更优异的性能，它们除了能织成各种衣料供人们穿着外，在工农业生产和国防领域也有广泛的用途，如可用来制作帐篷、防弹衣、太空服等。

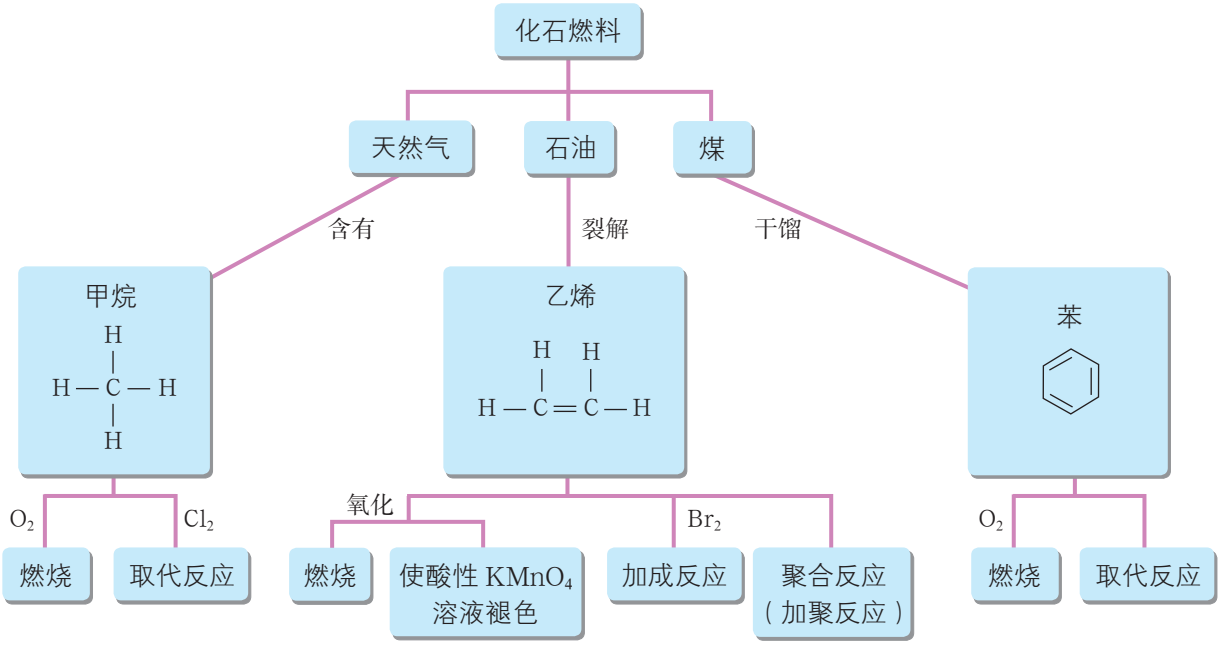
有机高分子材料的应用，极大地提高了人们的生活质量，但同时也带来了环境问题。为了保护人类的生存环境，人们开始着手回收利用废弃的合成高分子材料，使它们成为有用的资源。目前，化学家已研制出对人类环境友好的可降解材料，如以纤维素和淀粉为原料制成的生物降解塑料、以乙烯和一氧化碳为原料制成的光降解塑料等。

图3-2-16　腈纶制品

图3-2-17　用合成纤维制成的帐篷

概括 · 整合

1. 归纳总结化石燃料中的重要有机化合物——甲烷、乙烯和苯的结构及性质，示例如下：



2. 归纳总结天然气、石油和煤的组成以及它们在资源开发中的应用，概括石油分馏、裂解以及煤的干馏中的物质变化。

3. 归纳总结有机高分子材料的分类、性能及应用，概括有机化学对材料领域的贡献。

练习与活动

学习·理解

1. 从保护环境的角度看，下列燃料中最好的是（　　）。

A. 汽油　　B. 煤

C. 柴油　　D. 氢气

2. 下列变化中，不属于化学变化的是（　　）。

A. 煤的干馏　　B. 石油分馏

C. 重油裂化　　D. 石油气裂解

3. 下列说法中，不正确的是（　　）。

A. 通过石油分馏可得到汽油

B. 含有碳原子数大于 20 的烷烃的重油经过裂化可得到汽油

C. 煤是由无机物和有机化合物组成的复杂混合物

D. 煤中含有甲苯和苯，可用先干馏后分馏的方法将它们分离出来

4. 下列反应中，属于加成反应的是（　　）。

A. 乙烯使酸性 $KMnO_4$ 溶液褪色

B. 苯燃烧

C. 乙烯与溴的四氯化碳溶液反应生成 1,2- 二溴乙烷

D. 甲烷与氯气反应生成一氯甲烷

5. 下列关于苯和乙烯的说法中，不正确的是（　　）。

A. 苯和乙烯都属于不饱和烃

B. 苯中的碳碳键和乙烯中的碳碳键相同

C. 苯和乙烯分子中的所有原子都在同一平面内

D. 苯和乙烯都容易燃烧

6. 下列关于煤、石油、天然气的说法中，正确的是（　　）。

A. 石油是由多种烷烃、烯烃和芳香烃组成的混合物

B. 石油产品都是通过石油裂化得到的

C. 焦炉气是煤的干馏产物之一

D. 天然气是一种优良的化石燃料

7. 搭建乙烯分子的球棍模型，并用模型模拟乙烯与溴单质反应生成 1,2 – 二溴乙烷的结构转变。

8. 将下列物质及其结构简式与对应的小分子有机化合物连起来。

物质及其结构简式		小分子有机化合物
聚乙烯	$\left[CH_2-CH_2\right]_n$	$CH_2=CH(Cl)$
聚氯乙烯	$\left[CH_2-CH(Cl)\right]_n$	$CH_2=CH(CH_3)$
聚丙烯	$\left[CH_2-CH(CH_3)\right]_n$	$CF_2=CF_2$
聚四氟乙烯	$\left[CF_2-CF_2\right]_n$	$CH_2=CH_2$

9. 下列关于有机高分子化合物的说法中，不正确的是（　　）。

A. 有机高分子化合物的相对分子质量很大

B. 有机高分子化合物与生成它的小分子有机化合物在物理和化学性质上都有较大的差异

C. 塑料等高分子材料的使用极大地提高了人们的生活质量，废弃塑料制品可随意丢弃

D. 有机高分子化合物被称为聚合物，是因为它们大部分是由小分子通过聚合反应而得到的

10. 下列关于乙烯和聚乙烯的说法中，正确的是（　　）。

A. 二者都能使溴水褪色，性质相似

B. 二者互为同系物

C. 二者的碳氢原子个数比相同

D. 二者的分子组成相同

应用 · 实践

11. 下列操作中，可以用来鉴别甲烷和乙烯，还可以用来除去甲烷中混有的乙烯的是（　　）。

A. 将气体通入盛有硫酸的洗气瓶中

B. 将气体通入盛有足量溴水的洗气瓶中

C. 将气体通入盛有水的洗气瓶中

D. 将气体通入盛有澄清石灰水的洗气瓶中

12. 乙醇、1,2 – 二氯乙烷都是很重要的化工原料，工业上二者可以用乙烯分别与水、氯气在一定条件下发生加成反应来制取，试写出两个反应的化学方程式。

13. 燃烧法是测定有机化合物分子式的一种重要方法。0.1 mol 某烃完全燃烧后，测得生成的二氧化碳为 8.96 L（STP）、生成的水为 9.0 g。请通过计算推导该烃的分子式，并写出它可能的结构简式。

14. 天然气的主要成分是甲烷，而液化石油气的主要成分是丙烷、丁烷、丙烯（C_3H_6）、丁烯（C_4H_8）。请根据以上物质燃烧反应的化学方程式思考：使用天然气的燃气灶是否适用于液化石油气？若不适用，应怎样改造燃气灶？

15. 查阅资料，了解天然气、石油和煤在能源及材料等领域的创新应用。

16. 聚苯乙烯塑料的用途之一就是可以制成快餐盒，它由苯乙烯（$CH_2{=}CH-$  ）经加聚反应生成，反应的化学方程式为_____。

17. 动手实践。

① 向一支大试管（20 mL）里放入废塑料碎片，如聚乙烯、聚丙烯等，再放入一些镁条做裂化剂。

② 用导气管连接大试管与具支试管，实验装置如图所示。

第17题图

③ 用酒精灯缓慢加热大试管，塑料碎片先熔化而后沸腾。

④ 白色气体进入具支试管，有部分气体液化，另一部分气体从支管口排出。

⑤ 点燃排出的气体，观察火焰。

⑥ 停止加热并冷却后，将具支试管中的液体倒在蒸发皿中，点燃观察。

上述实验的实际意义是什么？

第 3 节　饮食中的有机化合物

糖类、油脂和蛋白质是食物中的主要营养物质，它们对人类的生命活动有着极其重要的作用；酒（主要成分为乙醇）、食醋（主要成分为乙酸）被用作饮品或调味品，在生活中随处可见。无论糖类、油脂和蛋白质，还是乙醇和乙酸，都是有机化合物。

联想 · 质疑

图3-3-1　富含有机化合物的食物

我们所摄取的食物是非常丰富的：面食、米饭、蛋、肉、蔬菜、水果……

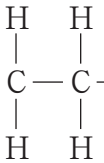
你知道糖类、油脂和蛋白质主要存在于哪些食物中吗？这些物质的组成和结构有什么特点？为什么它们对人类的生命活动具有非常重要的意义？

你对乙醇和乙酸有哪些认识？

一、乙醇

乙醇（ethanol）俗称酒精，是酒中的主要有机化合物。它是无色透明、具有特殊香味的液体；比水轻，20 ℃时的密度为 0.789 g · cm^{-3}；熔点为 −117.3 ℃，沸点为 78.5 ℃，易挥发；能与水以任意比例互溶，能溶解多种无机物和有机化合物，是优良的有机溶剂。

乙醇分子可以看成是乙烷分子中的一个 H 原子被−OH 原子团取代而形成的。乙醇的结构式为



，结构简式为 CH_3CH_2OH 或 C_2H_5OH。乙醇的官能团为**羟基**（−OH，hydroxyl），羟基决定了乙醇的化学特性。

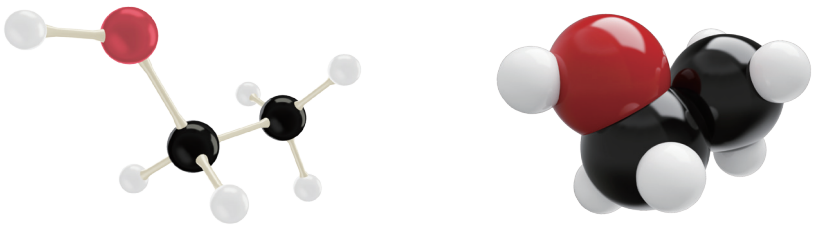


图3-3-2　乙醇分子的球棍模型和空间填充模型

活动 · 探究

学生必做实验

探究乙醇的化学性质

安全提示

要注意安全取用金属钠。

实验目的

探究乙醇的化学性质。

实验用品

无水乙醇，酸性 $KMnO_4$ 溶液，金属钠，铜丝；

试管，试管夹，烧杯，量筒，玻璃片，火柴，小刀，滤纸，酒精灯。

实验方案实施

【实验 1】向烧杯中加入约 2 mL 无水乙醇，点燃，观察现象。

【实验 2】向试管中加入约 2 mL 无水乙醇，取一根光洁的铜丝绕成螺旋状，置于酒精灯外焰上加热，然后伸入无水乙醇中，反复几次，观察铜丝的变化并闻一闻液体的气味。

【实验 3】向试管中加入约 2 mL 酸性 $KMnO_4$ 溶液，滴入数滴无水乙醇，振荡，观察现象。

【实验 4】向试管中加入约 2 mL 无水乙醇，再放入一小块金属钠，观察现象，检验生成的气体。

实验记录

实验序号	实验现象	实验结论
1		
2		
3		
4		

思考

以上实验说明乙醇具有哪些化学性质？

乙醇燃烧能产生大量的热。与甲烷一样，乙醇也是一种优良的燃料。

$$C_2H_5OH + 3O_2 \xrightarrow{\text{点燃}} 2CO_2 + 3H_2O$$

乙醇不仅能燃烧，而且在一定条件下能被氧化成乙醛。

$$2CH_3CH_2OH + O_2 \xrightarrow[\triangle]{\text{催化剂}} \underset{\text{乙醛}}{2CH_3CHO} + 2H_2O$$

乙醇能使酸性 $KMnO_4$ 溶液褪色，反应的实质是乙醇被高锰酸钾氧化。

乙醇能与金属钠反应生成乙醇钠并放出氢气。

$$2CH_3CH_2OH + 2Na \longrightarrow \underset{\text{乙醇钠}}{2CH_3CH_2ONa} + H_2\uparrow$$

乙醇可用作燃料、造酒原料、有机溶剂和化工原料等，医疗上则用 75%（体积分数）的乙醇溶液杀菌、消毒。

乙醛（acetaldehyde）是无色、有刺激性气味的液体，结构简式为 $CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-H$ 或 CH_3CHO。乙醛是一种重要的化工原料。

身边的化学

饮酒的利弊

酒中含有一定量的乙醇，乙醇的体积分数称为酒的度数。例如，1% vol 表示 100 mL 酒中含有 1 mL 乙醇。

乙醇进入人体后，一部分被小肠吸收，通过血液循环进入肝脏，在肝脏中被氧化成乙醛、乙酸，最终被氧化成二氧化碳和水，释放出能量。少量饮酒，能增加唾液和胃液的分泌，帮助消化；能扩张血管、消除疲劳。过量饮酒，肝脏一时无法将乙醇、乙醛和乙酸等全部转化，血液中高浓度的乙醇会减缓大脑中信使分子的有效传递，影响判断力。长期过量饮酒，会损伤肝脏；血液中高浓度的乙醛还能致癌，并容易导致心血管疾病急性发作。未成年人不应饮酒，机动车驾驶员严禁酒后驾车。

表 3-3-1　常见酒的度数

品名	酒的度数（% vol）
啤酒	3 ~ 5
葡萄酒	8 ~ 15
黄酒	6 ~ 20
白酒	30 ~ 70

$$\text{酒精（乙醇）} \xrightarrow{\text{乙醇脱氢酶}} \text{乙醛} \xrightarrow{\text{乙醛脱氢酶}} \text{乙酸} \longrightarrow \text{二氧化碳} + \text{水}$$

图3-3-3　乙醇在人体内的代谢过程

“酒驾”的检验

交警检验机动车驾驶员是否“酒驾”时，通常使用酒精检测仪。

一种传统的酒精检测仪原理如下：人体呼出的气体与检测仪内的重铬酸钾（$K_2Cr_2O_7$）接触，如果呼出气体中有乙醇蒸气，乙醇会被重铬酸钾氧化成乙醛，同时橙红色的重铬酸钾被还原成绿色的硫酸铬［$Cr_2(SO_4)_3$］。根据是否变色及颜色的变化程度，可测出呼出气体中是否有乙醇及乙醇含量的高低。

目前常用的是燃料电池型呼气酒精检测仪。它的原理为：呼出气体中若有乙醇蒸气，则在乙醇被催化氧化成二氧化碳（或乙醛）和水的过程中会释放出化学能，化学能经电化学装置转化为电能，用电压表测量其电压，示数越高，则乙醇浓度越高。

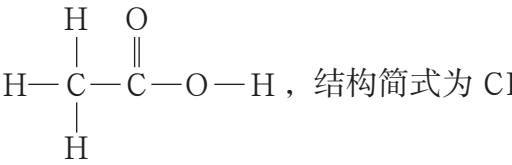
图3-3-4　一种酒精检测仪

二、乙酸

乙酸（acetic acid）是食醋中的主要有机化合物，普通食醋中含 3% ~ 5%（质量分数）的乙酸。乙酸在自然界中分布很广，动物组织、排泄物中都存在乙酸。许多微生物可以将有机化合物通过发酵转化为乙酸。

乙酸是一种有强烈刺激性气味的无色液体，20 ℃时的密度为 1.05 g · cm^{-3}；沸点为 117.9 ℃，熔点为 16.6 ℃；当温度低于 16.6 ℃时，乙酸就凝结成像冰一样的晶体，所以无水乙酸又称冰醋酸。

乙酸是一种重要的化学试剂，也是制药、染料、农药工业的重要原料，还可用于制造电影胶片所需要的醋酸纤维素和木材用胶黏剂中的聚乙酸乙烯酯以及很多合成纤维。

乙酸的结构式为  ，结构简式为 CH_3COOH。

乙酸的官能团为**羧基**（−COOH，carboxyl），羧基决定了乙酸的化学特性。

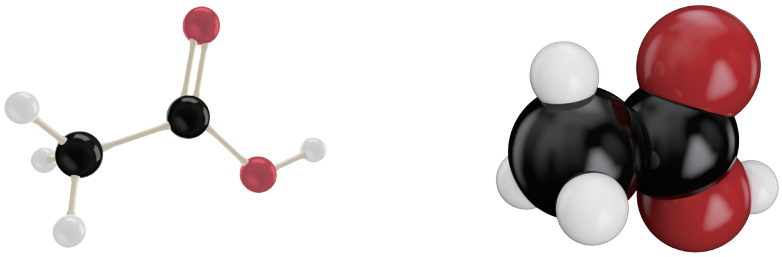


图3-3-5　乙酸分子的球棍模型和空间填充模型

活动 · 探究

学生必做实验

探究乙酸的化学性质

实验目的

探究乙酸的化学性质。

实验用品

冰醋酸，碳酸钙，锌粒，饱和 Na_2CO_3 溶液，NaOH 溶液，酚酞溶液，石蕊溶液，无水乙醇、浓硫酸、冰醋酸的混合物，蒸馏水；

试管，胶头滴管，酒精灯，铁架台，铁夹，导管，碎瓷片等。

实验方案设计及实施

1. 乙酸的酸性

乙酸在溶于水时能够电离出 CH_3COO^- 和 H^+，因而乙酸具有一定的酸性。请设计几个实验证明乙酸具有酸性。

实验内容	实验现象	反应的化学方程式

2. 乙酸与乙醇的反应

在试管中加入无水乙醇、浓硫酸、冰醋酸的混合物，再加入 2 ~ 3 块碎瓷片。按图 3-3-6 所示连接装置，用酒精灯小心均匀地加热试管，将产生的气体经导管通到饱和 Na_2CO_3 溶液的液面上。观察发生的现象，闻一闻生成物的气味。

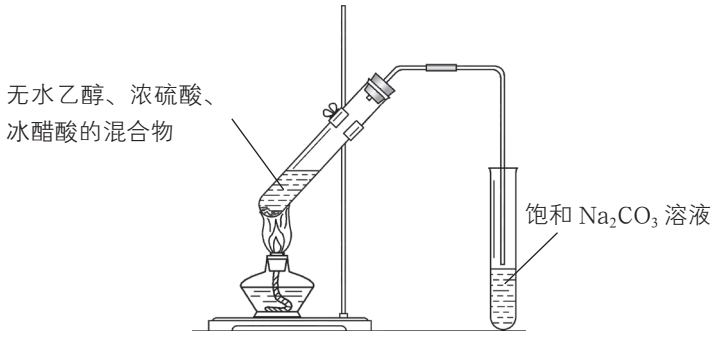


图3-3-6 乙酸与乙醇的反应示意图

安全提示

本实验中要用到浓硫酸，建议由教师辅助学生进行实验。

思考

根据观察到的实验现象概括总结乙酸的化学性质。

乙酸是一种常见的有机酸，它能使紫色的石蕊溶液变红；能与活泼金属、碱等物质发生反应。乙酸的酸性比硫酸、盐酸的酸性弱。

乙酸能与乙醇发生反应，生成**乙酸乙酯**（ethyl acetate）和水。乙酸乙酯是一种无色透明、有香味的油状液体。

$$CH_3COOH + CH_3CH_2OH \underset{\triangle}{\overset{\text{浓硫酸}}{\rightleftharpoons}} \underset{\text{乙酸乙酯}}{CH_3COOCH_2CH_3} + H_2O$$

像乙酸与乙醇这样生成酯和水的反应称为**酯化反应**（esterification reaction）。酯化反应是一类重要的有机化学反应。

迁移 · 应用

1. 向结有水垢［主要成分是 $CaCO_3$ 和 $Mg(OH)_2$］的壶里或暖瓶里加入少量食醋（最好是醋酸），浸泡一段时间后，再用水清洗，水垢便可除去。请写出相关反应的化学方程式。

2. 用粮食酿制的酒中，除了含有乙醇，通常还含有少量乙酸等物质。由粮食酿造的酒会随着储藏时间的延长而变得更醇香，请分析其中可能的原因。

三、糖类、油脂和蛋白质

1. 糖类

糖类（saccharides）是一大类有机化合物，葡萄糖、蔗糖、淀粉和纤维素等都属于糖类。糖类物质是由 C、H、O 三种元素组成的，其组成大多可以用通式 $C_n(H_2O)_m$ 表示，因此曾把它们称为碳水化合物。

糖类可以根据其能否水解以及水解产物的不同来分类。

表3-3-2 糖类物质的分类及用途

类别	单糖	低聚糖（以双糖为例）	多糖
特点	不能再水解成更小的糖分子	1 mol 双糖能水解成 2 mol 单糖	1 mol 多糖能水解成 n mol（n>10）单糖
化学式	$C_6H_{12}O_6$	$C_{12}H_{22}O_{11}$	$(C_6H_{10}O_5)_n$
常见物质	葡萄糖、果糖	蔗糖、麦芽糖	淀粉、纤维素
用途	可用于制造药品、糖果等	可用作甜味剂	淀粉可用于制造葡萄糖和酒精；纤维素可用于制造无烟火药、电影胶片的片基、纸张等

1 mol 低聚糖水解时能生成 2 ~ 10 mol 单糖。低聚糖包括双糖、三糖等。双糖是最重要的低聚糖。

淀粉和纤维素分子是由一定的结构单元 $C_6H_{10}O_5$ 重复连接而成的，化学式用 $(C_6H_{10}O_5)_n$ 表示，它们属于天然高分子化合物。

观察 · 思考

淀粉的水解和葡萄糖的检验

1. 向四支试管中分别加入等量稀淀粉溶液。

2. 向其中两支试管中各加入少量唾液，搅拌 3 ~ 4 min，然后将四支试管在 40 ℃ 的温水中放置 15 min 后取出。

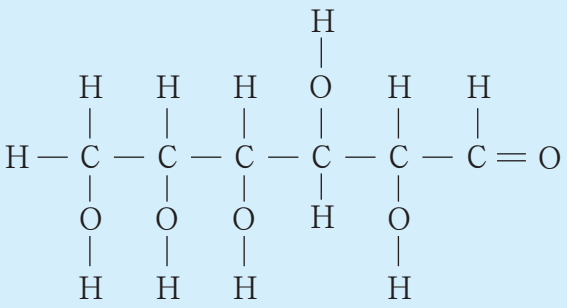
3. 向其中两支试管（一支加唾液、一支未加）中各加碘水数滴，对比观察两支试管中的现象；向剩余两支试管中各加入适量新制氢氧化铜悬浊液，加热，对比观察两支试管中的现象。

思考

实验中，淀粉发生了什么反应？淀粉、葡萄糖分别用什么方法检验？

葡萄糖（glucose）是一种重要的单糖，是生物体内主要的能源物质。正常人的血液里约含 0.1%（质量分数）的葡萄糖，血糖通常指的是血液中的葡萄糖。

葡萄糖的化学式为 $C_6H_{12}O_6$，结构式如下：



葡萄糖的结构简式为 $CH_2OH(CHOH)_4CHO$。

葡萄糖在人体组织中发生氧化反应，为生命活动提供能量。

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O$$

加热条件下，葡萄糖可以使新制的氢氧化铜转化成砖红色沉淀，利用该反应可以检验葡萄糖的存在。

淀粉（starch）属于天然高分子化合物，是一种重要的多糖，主要存在于植物的种子或块根里，其中谷类含淀粉较多。

图3-3-7　玉米和马铃薯富含淀粉

食物	淀粉含量
大米	80%
小麦	70%
马铃薯	20%

淀粉在酸或酶的催化作用下可以逐步水解，最终生成葡萄糖；葡萄糖进一步氧化成二氧化碳和水，人体从中得到相应的能量。

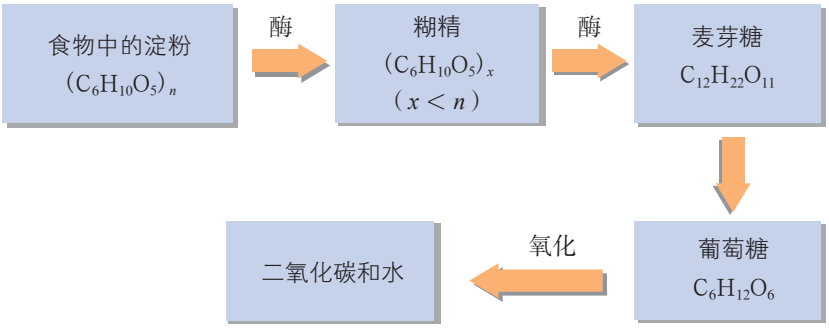


图3-3-8 淀粉在人体中的变化

在常温下，淀粉遇碘变蓝，这是淀粉的特征反应，该反应可用于检验食物中是否含有淀粉。

由于淀粉能在一定条件下水解生成葡萄糖，而葡萄糖在酒化酶的作用下能转化为乙醇，因此工业上常以富含淀粉的农作物为原料酿酒。

纤维素（cellulose）也属于多糖，是构成植物细胞壁的基本成分。一切植物都含有纤维素。纤维素在一定条件下（如存在纤维素酶时）能水解生成葡萄糖。不过，人体内不含纤维素水解所需要的酶，因此纤维素不能转化为人体所需要的营养物质。然而，食物中的纤维素在人体消化过程中有着重要的作用，它能刺激肠道蠕动并分泌消化液，有助于食物的消化和排泄。因此，我们每天都应摄入一定量富含纤维素的新鲜蔬菜。

2. 油脂

油脂（oils and fats）是一类特殊的酯。植物油脂通常呈液态，叫作油；动物油脂通常呈固态，叫作脂肪。

油脂可看作高级脂肪酸［如硬脂酸（$C_{17}H_{35}COOH$）、软脂酸（$C_{15}H_{31}COOH$）和油酸（$C_{17}H_{33}COOH$）等］与甘油经酯化反应生成的酯。油脂在适当的条件下能发生水解反应，生成相应的高级脂肪酸。工业上根据这一反应原理，以油脂为原料来制取高级脂肪酸和甘油。

油脂在小肠内受酶的催化作用而水解，生成的高级脂肪酸和甘油作为人体的营养成分被肠壁吸收，同时提供人体活动所需要的能量。

油脂的组成可表示为 $\begin{array}{l} R_1COOCH_2 \\ \quad\quad\quad | \\ R_2COOCH \\ \quad\quad\quad | \\ R_3COOCH_2 \end{array}$，

R_1、R_2、R_3 代表烃基（烃分子失去氢原子后的剩余部分叫作烃基，如 $-C_{15}H_{31}$ 叫作十五烷基、$-C_{17}H_{35}$ 叫作十七烷基等），它们可以相同，也可以不同。

高级脂肪酸对人类的生命活动有着重要的作用，其中有些高级脂肪酸如亚油酸（$C_{17}H_{31}COOH$）是人体所必需的。亚油酸等高级脂肪酸在人体内参与前列腺素的合成，而前列腺素对于血压和体温的维持、胃酸的分泌和血小板的凝聚等生理活动具有很大影响。

油脂除可食用外，还可用于生产肥皂和油漆等。

3. 蛋白质

蛋白质（protein）广泛存在于生物体内，是组成细胞的基础物质。动物的肌肉、皮肤、毛发等的主要成分都是蛋白质。蛋白质约占人体中除水分外剩余物质质量的一半。

蛋白质由碳、氢、氧、氮、硫等元素组成，是一类结构非常复杂、相对分子质量很大（几万到几千万）的有机化合物。人体每天必须摄取一定量的蛋白质。鱼、肉、蛋、奶等动物性食物和某些植物性食物（如大豆制品），都能提供丰富的蛋白质。

图3-3-9　常见的富含蛋白质的食物

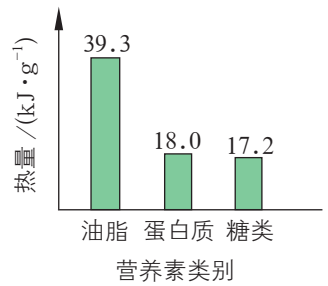


图3-3-10　1 g 油脂、蛋白质、糖类完全氧化生成二氧化碳和水时放出的热量比较

人体从食物中摄取的蛋白质在胃、肠等消化器官中受蛋白酶的作用水解生成各种**氨基酸**（amino acid）。这些氨基酸被人体吸收后，在一定条件下重新结合成人体所需要的各种蛋白质。

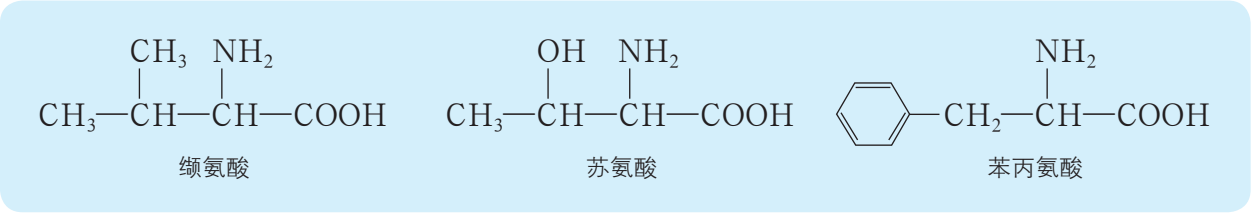


图3-3-11　人体中的几种必需氨基酸

活动 · 探究

蛋白质的性质

实验目的

以鸡蛋清为蛋白质的代表物，通过实验探究蛋白质的性质。

实验用品

鸡蛋清溶液，乙醇溶液，浓硝酸，饱和 $(NH_4)_2SO_4$ 溶液，$CuSO_4$ 溶液，蒸馏水；酒精灯，试管，胶头滴管，镊子，玻璃棒等。

实验方案实施

【实验 1】向盛有 1 mL 饱和 $(NH_4)_2SO_4$ 溶液的试管中缓慢加入几滴鸡蛋清溶液，观察发生的现象；然后向试管中加入蒸馏水，继续观察发生的现象。

【实验 2】向三支试管中分别加入等量的鸡蛋清溶液，加热第一支试管，向第二支试管中加入 $CuSO_4$ 溶液，向第三支试管中加入乙醇溶液，观察发生的现象；然后向三支试管中分别加入蒸馏水，与实验 1 进行对比。

【实验 3】向盛有少量鸡蛋清溶液的试管中滴入几滴浓硝酸，观察发生的现象。

【实验 4】用玻璃棒蘸取少量鸡蛋清或用镊子夹取一根头发，放在酒精灯上灼烧，闻一下气味。

安全提示

请注意安全取用硝酸。

实验记录

实验序号	实验现象	实验结论
1		
2		
3		
4		

思考

以上实验说明蛋白质具有哪些性质？

向蛋白质溶液中加入某些盐［如（NH_4）$_2SO_4$、NaCl］的浓溶液，会使蛋白质的溶解度降低而使其从溶液中析出，这样析出的蛋白质在继续加水时仍能溶解，并不影响原来蛋白质的生理活性。

在紫外线照射、加热或加入某些有机化合物（如乙醇、甲醛等）以及酸、碱、重金属盐（如铜盐、铅盐、汞盐等）的情况下，蛋白质会发生性质上的改变而失去生理活性。高温消毒灭菌就是用加热的方法使蛋白质凝固并变性，从而导致细菌死亡。进入人体的重金属盐能使蛋白质变性，所以会使人中毒。

蛋白质可以与许多试剂发生显色反应，如分子中含有苯环的蛋白质与浓硝酸作用时呈黄色。此外，蛋白质被灼烧时会产生特殊的气味。

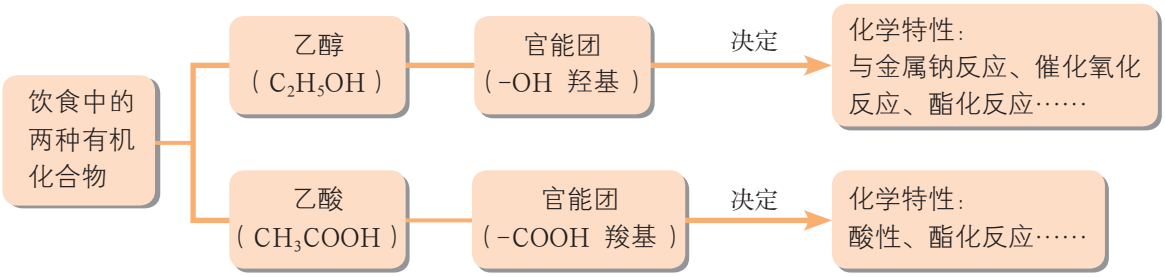
迁移 · 应用

蛋白质是病毒、细菌等的重要组成成分。医院里常用高温蒸煮、紫外线照射、喷洒消毒剂、在伤口处涂抹医用酒精等方法来消毒、杀菌。这样做的依据是什么？为什么生物实验室里常用稀释的福尔马林（质量分数为 37% ~ 40% 的甲醛溶液）保存动物标本？

蛋白质在人类的生产和生活中有着广泛的用途。羊毛、蚕丝、牛皮和鱼鳔的主要成分都是蛋白质。羊毛和蚕丝是重要的天然纺织原料，牛皮经加工后可制成柔软坚韧的皮革，鱼鳔经过熬制提取的蛋白质可制成黏合剂。

概括 · 整合

1. 归纳总结乙醇和乙酸的结构、性质及用途，示例如下：



2. 归纳总结糖类、油脂、蛋白质的性质及应用，概括其在人体内的转化。

练习与活动

学习·理解

1. 将下列物质与对应的分子式（或结构简式）连起来。

葡萄糖 •	• $(C_6H_{10}O_5)_n$
乙酸乙酯 •	• CH_3COOH
淀粉 •	• $C_{12}H_{22}O_{11}$
乙酸 •	• $CH_3COOCH_2CH_3$
蔗糖 •	• $C_6H_{12}O_6$

2. 下列关于蛋白质的说法中，正确的是（　　）。

A. 向蛋白质溶液里加入饱和 $(NH_4)_2SO_4$ 溶液，蛋白质析出，再加水也不溶解

B. 向豆浆中加入少量石膏，能使豆浆凝结为豆腐

C. 鸡蛋清溶液加热时能发生变性

D. 蛋白质水解能得到氨基酸

3. 下列关于乙醇的说法中，不正确的是（　　）。

A. 乙醇密度比水小，故可以用分液的方法除去乙醇中的水

B. 乙醇是很好的溶剂，故可以用乙醇来提取某些中药中的有效成分

C. 乙醇能与水以任意比例互溶，故可以勾兑出不同酒精度的酒

D. 乙醇易挥发，故有“好酒不怕巷子深”的说法

4. 乙酸俗称_____，其分子式为_____，其官能团为_____。乙酸是一种比硫酸_____（填“强”或“弱”）的酸，向少量碳酸钙粉末中加入少量乙酸，可观察到的现象为_____，其反应的化学方程式为_____。由此实验可以得到的结论是_____的酸性比_____的酸性强。

5. 请简述下列反应中，从反应物到生成物的官能团转化情况。

（1）$CH_2{=}CH_2 + H_2O \xrightarrow{\text{一定条件}} CH_3CH_2OH$

（2）$CH_3CH_2OH + CH_3COOH \underset{\triangle}{\overset{\text{浓硫酸}}{\rightleftharpoons}} CH_3COOCH_2CH_3 + H_2O$

应用 · 实践

6. 现有四种试剂：① 新制氢氧化铜悬浊液，② 浓硝酸，③ $AgNO_3$ 溶液，④ 碘水。现要鉴别下列四瓶无色溶液，请选择合适的试剂，将其序号填入相应的括号中。

（1）葡萄糖溶液（　　）　　（2）淀粉溶液（　　）

（3）食盐溶液（　　）　　（4）鸡蛋清溶液（　　）

7. 用括号内的试剂和分离方法除去下列物质中的少量杂质，不正确的是（　　）。

A. 乙酸乙酯中混有乙酸（饱和 Na_2CO_3 溶液，分液）

B. 乙醇中混有乙酸（NaOH 溶液，蒸馏）

C. 甲烷中混有乙烯（溴的四氯化碳溶液，分液）

D. 溴苯中混有溴（NaOH 溶液，分液）

8. 化学式为 C_2H_6O 的化合物 A 具有如下性质：

$$A + Na \longrightarrow \text{慢慢产生气泡}$$

$$A + CH_3COOH \xrightarrow[\triangle]{\text{浓硫酸}} \text{生成有香味的产物}$$

（1）写出 A 的结构简式：_____。

（2）A 的体积分数为 75% 的水溶液可以用作_____。

（3）A 与金属钠反应的化学方程式为_____。

（4）化合物 A 与 CH_3COOH 反应生成的有香味的产物的结构简式为_____。

9. 动手实践。

取一根洁净、红亮的铜丝，前端绕成螺旋状；点燃酒精灯，先使螺旋部位在酒精灯外焰处灼烧，然后慢慢移向内焰，迅速取出。在这一过程中，你观察到了哪些现象？应如何解释这些现象？写出有关变化的化学方程式。上述实验对你了解如何使用酒精灯有什么启示？

微项目

自制米酒

——领略我国传统酿造工艺的魅力

项目学习目标

- 回顾我国食品酿造的悠久历史，了解传统文化与科学技术的关系。
- 认识酿造工艺中的有机化合物及其反应，学会从化学的视角分析、解释生产和生活中的实际问题。
- 讨论酿造米酒的最佳条件，体会调控反应条件的重要性。

你知道吗，常见的酒、醋、酱油等通常是用粮食发酵酿制而成的。传统食品酿造工艺起源于我国，后来慢慢传到日本和亚洲其他国家。历史悠久的传统酿造工艺为现代酿造工艺的发展作出了杰出贡献。

在本项目活动中，你将了解酿造过程涉及的有机化合物及其反应，认识发酵酿造在生产和生活中的重要意义以及广阔的应用前景。

项目活动 1　调研我国古代的酿造工艺

阅读“资料卡片”的内容或通过网络、图书馆查阅我国古代酿造工艺的相关资料，结合你对有机化合物性质的认识，进行小组讨论：在用粮食酿酒或酿醋的过程中，有机化合物的转化路径是怎样的？古人在酿造时通常从哪些角度来调控物质的转化？

资料卡片

《齐民要术》与我国传统酿造工艺

《齐民要术》是世界上最早记录食品酿造的典籍，对我国传统的酿造方法有较详细的叙述。

《齐民要术》是北魏贾思勰的著作，书中记述的酿酒方法与近代酿酒法相似。文中记载“浸曲三日，如鱼眼汤沸，酘米”，说明当时人们已经发现了酒曲在酿酒中的重要作用，并强调曲要晒干、磨细，浸曲三日，待曲内的酵母菌和霉菌等微生物初步繁殖至液体内不断有鱼眼般大小的气泡冒出时，即可拌入蒸熟后摊凉的米饭中进行发酵。

图3-4-1　《齐民要术》

《齐民要术》中对酿酒用水及酿酒季节的掌握也有记载。“初冻后，尽年暮，水脉既定，收取则用。其春酒及余月，皆须煮水为五沸汤，待冷、浸曲，不然则动。”这是对浸曲的水的明确要求：除初冻的冬月和年底的腊月外，酿酒时一律要把浸曲的水煮沸五次，不然，酒就会变质。这说明古人已经知道天冷时水温低，微生物活动能力弱，可以直接取水浸曲酿酒；天气稍暖，就要煮沸灭菌。古代没有控制温度的设备，只能选择适宜的季节，也就是春、秋两季来酿酒，这是依据酵母菌和霉菌等微生物生长所需的适宜温度总结出来的。

在我国古代，人们最早以发霉的谷物为引子催化蒸熟或者磨碎的谷物，酿制成酒，那些发霉的谷物就是最早的“酒曲”。那时人们就巧妙地运用了发酵的化学原理：谷粒发芽或发霉时会滋生毛霉菌、酵母菌等，毛霉菌会分泌出糖化酶，淀粉在糖化酶的作用下会水解成麦芽糖、葡萄糖。这些糖类化合物在酒化酶（由酵母菌分泌）的作用下可分解生成乙醇。以葡萄糖为例，其分解反应如下：

$$\underset{\text{葡萄糖}}{C_6H_{12}O_6} \xrightarrow{\text{酒化酶}} 2C_2H_5OH + 2CO_2\uparrow$$

谷物还可以用来酿醋。醋酸是酿造得到的酒精在醋酸菌的作用下，被空气氧化而成的。粮食酿醋的发酵过程可以简单地表示为：

$$\text{淀粉} \xrightarrow[\text{（毛霉菌）}]{\text{糖化酶}} \text{葡萄糖（麦芽糖等）} \xrightarrow[\text{（酵母菌）}]{\text{酒化酶}} \text{乙醇} \xrightarrow[\text{（醋酸菌）}]{\text{酶}} \text{乙酸}$$

酿醋过程中，在发酵生成醋酸的同时还有其他有机化合物在酶的作用下发生相应的转化，如丁醇被氧化生成丁酸、葡萄糖被氧化生成葡萄糖酸、蛋白质分解为氨基酸等。这些有机酸与醇类进一步反应生成具有芳香味的酯，从而使酿出的醋香鲜味美。

随着现代科技的发展，人们对酿造过程中原料所发生的变化及变化条件的认识越来越深入，从而使现代酿造工艺又有了长足的发展，生产出品种更丰富、口感更美妙的各类食品。

项目活动 2 酿制米酒

1. 小组合作，查阅米酒酿制的方法及步骤，研讨并制订酿制方案。课后在教师的指导下，在实验室或家中酿制米酒，用酒精计等测定米酒的酒精度，做好实验记录，概括酿制过程中影响米酒口味的关键因素。

2. 某小组同学按照以下步骤酿制米酒，收集相关数据绘制了如图 3–4–2 所示的实验数据图。

步骤 1：用清水冲洗糯米，浸泡一段时间；

步骤 2：将泡软的糯米沥干水分，蒸熟；

步骤 3：将蒸熟的糯米摊开晾凉；

步骤 4：将粉末状甜酒曲和糯米充分拌匀，装入干净的玻璃容器；

步骤 5：将容器盖严，置于恒温环境中发酵；

步骤 6：每隔 24 h 测定米酒的酒精度和 pH，连续 10 天。

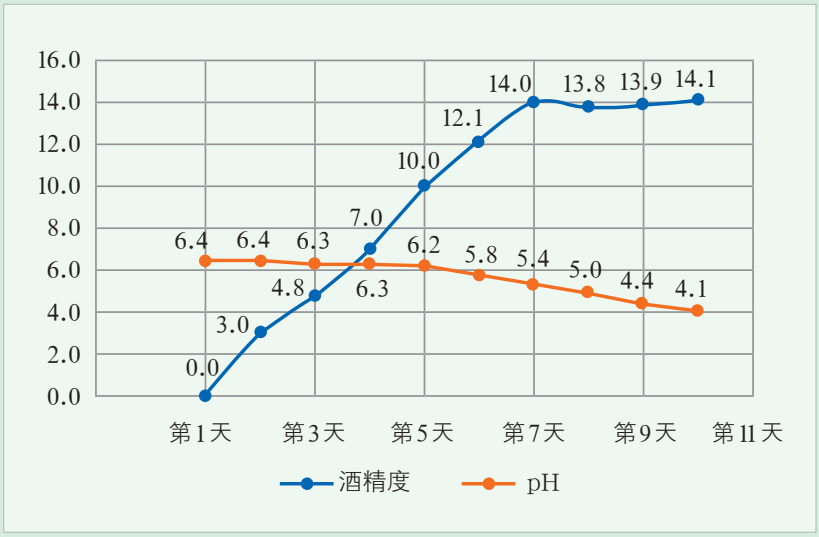


图3–4–2 自制米酒的实验数据

（1）从数据变化可以看出，随着时间的推移，米酒的酒精度变化呈先增大后基本稳定的趋势，米酒的 pH 变化呈逐渐减小的趋势，请分析出现上述变化趋势的原因。

（2）若要酿制出口味较好的米酒，在酿制过程中应该注意哪些具体操作，控制好哪些条件？结合自己小组的酿酒过程谈谈对上述问题的看法。

3. 蒸馏米酒。在实验室组装蒸馏装置（图 3-4-3），将一定量的醪糟或者米酒放入蒸馏烧瓶中，用酒精灯加热，并用锥形瓶分段收集经过冷凝管的馏出液，观察其状态，闻一闻气味并测定其酒精度，与蒸馏前的醪糟或米酒进行对比。

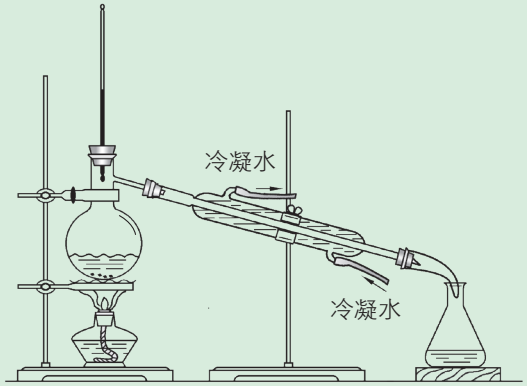


图3-4-3　蒸馏实验装置示意图

从化学的角度分析，酿造过程中谷物发酵成酒发生的是特殊微生物参与的复杂化学变化。为了让发酵过程和结果符合人们的预期，需要控制好反应条件。谷物酿酒的关键反应条件是使用酒曲和控制温度：酒曲相当于反应的催化剂，不同的谷物需要不同的酒曲；反应温度不宜过低或过高——过低不利于反应的进行，过高则可能导致酒曲中的酶失活。另外，还要注意控制其他反应条件：使用干净的原料、容器及凉开水，以防止对酿酒不利、对人体健康有害的其他细菌的滋生；将酒曲与原料充分拌匀，以使反应充分发生；注意密封，以保证酵母菌在缺氧条件下更好地使葡萄糖转化为二氧化碳和乙醇；等等。

用粮食酿得的米酒中，乙醇的浓度通常较低，这是因为酒中乙醇的体积分数超过 10% 时就会抑制酵母菌的活动能力，发酵作用也会逐渐停止。像白酒等烈性高度酒必须用蒸馏的方法才能制得，所以蒸馏酒的出现是酿酒工艺史上的又一次飞跃。

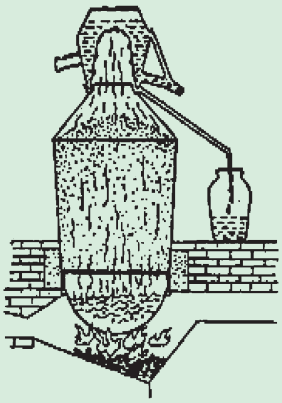


图3-4-4　历史上我国民间使用的蒸馏器

图3-4-5　现代酒厂中常用的蒸馏设备

蒸馏是一种物质分离方法，它利用液体混合物或液体–固体混合体系中各组分沸点的不同，使低沸点组分先蒸发再冷凝，从而实现混合物有关成分的分离，是蒸发和冷凝两种

操作的联合。在白酒生产中，通过蒸馏可将乙醇及其伴生的香味成分从发酵粮食酒中分离浓缩，再经过调制加工工艺，白酒就有了不同的酒精度和香型。

将酒精度较低的酿造酒加热蒸馏时，由于乙醇的沸点较水低，控制一定的温度，可使加热时产生的蒸气中乙醇浓度增加。收集蒸气并经过冷却，得到的酒液无色，气味辛辣浓烈，其酒精度可超过 60% vol。

科学技术的发展极大地促进了发酵与酿造工业的进步，各种有机酸、酶制剂、维生素、激素等都可以借助发酵技术进行大规模生产。将化学合成与微生物发酵有机结合起来的工程技术正在蓬勃发展，使得有机化合物的人工合成具有更加广阔、美好的前景。

拓展视野

发酵的意义与价值

19 世纪初，德国科学家布赫纳（E.Buchner）用实验证明了发酵的化学本质——发酵是由酶而不是生物细胞引起的一类化学反应。自此，人们开始用生物细胞的磨碎物研究各种反应，从而促进了生物化学的诞生，也大大扩展了发酵与酿造的范围，丰富了发酵与酿造的产品。

随着科技的发展，发酵与酿造的原料范围不断被扩展。除了粮食及农副产品外，矿产资源、石油产品甚至生产中的废水和废料都可以用作发酵的原料。发酵和酿造的产品除了在食品工业有重要应用外，在医药、能源、环境等领域也逐渐得到应用。有研究者模拟粮食发酵生成乙醇的原理，以麦秸秆、甘蔗渣等废弃或廉价物为原料，经过预处理及发酵，获得产量可观的乙醇。以乙醇为原料可以合成许多有用的有机化合物，如乙酸、乙酸乙酯、醋酸纤维素等。

发酵具有反应条件温和、专一性强和选择性高等特点，所以采用化学合成与微生物发酵结合的方法既能降低生产成本，又能保持较高的产品质量。很多产品还可以采用一步酶转化法获得，即仅仅利用微生物生产的酶催化单一的化学反应就可以得到目标产品。例如，果葡糖浆的生产就是利用葡萄糖异构酶将葡萄糖转化为果糖的。

项目成果展示

1. 总结项目实施过程中你对传统酿造工艺和现代发酵、酿造工艺的理解，梳理其中有机化合物及其性质的应用。

2. 将小组合作调研我国古代酿造工艺收集的资料和自制米酒过程中的记录整理成活动报告，并进行汇报展示。

本章自我评价

本章通过认识有机化合物、了解化石燃料和饮食中的有机化合物，继续发展“证据推理与模型认知”，重点促进“宏观辨识与微观探析”、“变化观念与平衡思想”中的“变化观念”、“科学探究与创新意识”和“科学态度与社会责任”化学学科核心素养的发展。请依据下表检查对本章的学习情况。

<table>
<tr><th colspan="2">核心素养发展重点</th><th>学业要求</th></tr>
<tr><td>宏观辨识与微观探析</td><td>基于碳原子的成键特点认识有机化合物的结构特征，体会有机化合物在元素组成、分子结构及性质等方面与无机物的差异。</td><td rowspan="4">1. 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分子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。
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，能书写相关的反应式，能利用这些物质的主要性质进行物质鉴别。
3. 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要说明。
4. 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、合理使用常见的有机化学品。</td></tr>
<tr><td>变化观念与平衡思想</td><td>通过对乙烯、乙醇和乙酸等典型代表物的学习，体会有机化学反应与无机化学反应在反应条件、反应试剂及生成物等方面的差异，深化“结构决定性质，性质反映结构”“性质决定用途”等学科观念。</td></tr>
<tr><td>科学探究与创新意识</td><td>通过探究乙醇、乙酸化学性质的实验，学会组装实验仪器，与同学合作完成实验操作，并能运用多种恰当方式收集实验证据，基于证据推断概括乙醇、乙酸的性质。</td></tr>
<tr><td>科学态度与社会责任</td><td>通过对化石燃料、饮食中的有机化合物的性质与用途的分析，体验有机化合物在能源、材料领域中的应用价值及有机化学对人类社会发展作出的巨大贡献。
通过微项目活动，体会中国传统酿造工艺中蕴含的科学知识和原理，体会科学技术的发展使人们认识发酵的本质，进而将发酵原理应用于更为广泛的有机合成。</td></tr>
</table>

学习·理解

1. 下列物质中，属于烃的衍生物的是（　　）。

A. 甲烷　　B. 乙烯　　C. 乙醇　　D. 苯

2. 下列原子或原子团中，不属于官能团的是（　　）。

A. $-X$　　B. $-OH$　　C. $-NO_2$　　D. $-CH_3$

3. 下列有关烷烃的说法中，不正确的是（　　）。

A. 在烷烃的分子中，所有的化学键均为单键

B. 烷烃的结构简式都可以写成 C_nH_{2n+2} 的形式

C. 随分子中碳原子数的增多，烷烃的沸点逐渐升高

D. 甲烷是含氢量最大的烷烃

4. 加成反应是有机化学中一类重要的反应。下列反应中，属于加成反应的是（　　）。

A. 甲烷与氯气混合后光照发生反应

B. 乙烯与溴的四氯化碳溶液反应

C. 乙烯使酸性 $KMnO_4$ 溶液褪色

D. 乙烯在空气中燃烧

5. 下列物质中，不能用来鉴别甲烷和乙烯的是（　　）。

A. 水　　B. NaOH 溶液

C. 溴的四氯化碳溶液　　D. 酸性 $KMnO_4$ 溶液

6. 下列物质中，不能与金属钠反应的是（　　）。

A. 乙醇　　B. 乙酸　　C. 乙烯　　D. 水

7. 下面列举的是某化合物的组成和性质，能说明该物质肯定是有机化合物的是（　　）。

A. 仅由碳、氢两种元素组成

B. 仅由碳、氢、氧三种元素组成

C. 在氧气中燃烧只生成二氧化碳

D. 熔点低且难溶于水

8. 生活中的一些问题常常涉及化学知识。下列说法中，正确的是（　　）。

A. 糯米中的淀粉一经水解就酿成了酒

B. 将米饭放在嘴中咀嚼，越嚼越甜

C. 棉花和合成纤维的主要成分均为纤维素

D. 未成熟的苹果遇碘水会变蓝

9. 市场上有一种加酶洗衣粉，它是在洗衣粉中加入少量的碱与蛋白酶制成的。蛋白酶的催化活性很强，衣物上的汗渍、血渍等遇到它都能水解而被除去。下列衣料中，不能用加酶洗衣粉洗涤的是（　　）。

① 棉织品　　② 毛织品　　③ 腈纶织品　　④ 丝织品

A. 只有①　　B. ②③　　C. ①③　　D. ②④

10. 归纳总结糖类、油脂、蛋白质的组成、结构及性质，查找有关资料了解它们在生产和生活领域中的应用。

应用·实践

11. 将等质量的四块铜片在酒精灯上加热后分别插入下列溶液中，放置片刻后铜片质量与加热前相同的是（　　）。

A. 硝酸　　B. 乙酸　　C. 石灰水　　D. 乙醇

12. 在焊接铜漆包线的线头时，常把线头放在火上烧一下以除去漆层，随后立即在酒精中蘸一下，之后再焊接。请利用化学用语说明其原因：_____。

13. 体育比赛中，当运动员肌肉挫伤或扭伤时，队医立即对准运动员的受伤部位喷射药剂——氯乙烷（CH_3CH_2Cl，沸点为 12.27 ℃）进行局部冷冻麻醉应急处理。

（1）写出由乙烯制取氯乙烷的反应的化学方程式：_____。

（2）氯乙烷能用于冷冻麻醉应急处理的原因是_____。

14. 某烃在常温下为液体，常用作油漆的溶剂。为测定该烃的分子式，将 0.1 mol 该烃在氧气中完全燃烧，得到的二氧化碳在标准状况下体积为 13.44 L，得到的水的质量为 5.4 g。请通过计算写出该烃的分子式。若该烃不能使溴的四氯化碳溶液和酸性 $KMnO_4$ 溶液褪色，试推测该烃的名称并写出其结构简式。

15. 一种牛奶的营养成分表如图所示。仔细阅读，分析牛奶能为人体提供哪些营养物质。已知每克糖类、油脂、蛋白质在人体内被氧化产生的热量分别约为 17.2 kJ、39.3 kJ、18.0 kJ，请计算一盒 250 mL 的牛奶所能提供的热量。

营养成分平均含量（每 100 mL）	
蛋白质	3.6 g
脂肪	1.3 g
糖类	5.7 g
钙	105 mg
钠	53 mg

第15题图

16. 交警通常使用酒精检测仪来检验机动车驾驶员是否“酒驾”，其原理是：司机口中呼出的乙醇可以使酒精检测仪中橙色的重铬酸钾（$K_2Cr_2O_7$）转变为绿色的硫酸铬［$Cr_2(SO_4)_3$］。

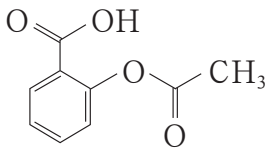
（1）上述反应涉及的乙醇性质有（　　）。

A. 乙醇易挥发　　B. 乙醇密度比水小

C. 乙醇能被重铬酸钾氧化　　D. 乙醇可发生酯化反应

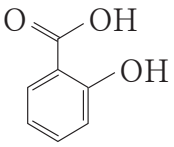
（2）请再列举一个体现乙醇相同性质的化学反应：_____（写出反应物、反应现象即可）。

17. 阿司匹林是人们经常使用的一种解热、镇痛和消炎药物，其学名为乙酰水杨酸，结构简式为



。

（1）阿司匹林溶于水后显弱酸性，这与其分子中所含的_____官能团有关。

（2）阿司匹林在沸水中容易水解生成水杨酸（  ）和乙酸，由此推测阿司匹林分子中发生转化的是_____官能团，推测的思路是_____。

18. 近年来，乳酸成为研究热点之一。乳酸可以用化学方法合成，也可以由淀粉通过发酵法制备。以乳酸（$CH_3-\underset{}{\overset{OH}{\overset{|}{C}}}H-COOH$）为原料制成的高分子材料具有生物相容性，而且在哺乳动物体内或自然环境中都可以最终降解为二氧化碳和水。乳酸还有许多其他用途，如它能与铁粉反应制备一种药物，反应的化学方程式为：

$$2\,CH_3-\overset{OH}{\overset{|}{C}}H-COOH + Fe \longrightarrow \underset{\text{乳酸亚铁}}{(CH_3-\overset{OH}{\overset{|}{C}}H-COO)_2Fe} + X$$

（1）乳酸降解为二氧化碳的反应的化学方程式为_____。

（2）乳酸与铁的反应中，X 的化学式为_____，该反应中乳酸表现出酸性和_____性。

（3）试从自然界物质循环的角度解释利用乳酸合成高分子材料对环境的重要意义。

迁移·创新

19. 聚苯乙烯是一种无毒、无臭、无色的热塑性材料，因其具有易加工成型、廉价、绝缘性好、印刷性好等优点，被广泛应用于制造食品包装材料、电器绝缘外壳、光学仪器以及日用产品等，是四大通用塑料之一。工业制备聚苯乙烯的方法是先获得中间产物乙苯（分子式为 C_8H_{10}，结构简式为 C_2H_5-  ）。乙苯是一种芳香烃，一般采用苯和乙烯在催化剂存在时发生加成反应的方法来制得。中间产物乙苯进一步在高温的作用下催化脱氢可得到苯乙烯。

请根据上述资料写出以苯和乙烯为原料制备聚苯乙烯的路径。

附　录

1. 各章节中的主要术语与物质名称

术语或物质名称	英文	章	节	页
质量数	mass number	1	1	3
核素	nuclide	1	1	4
同位素	isotope	1	1	4
原子序数	atomic number	1	2	12
元素周期律	periodic law of elements	1	2	13
周期	period	1	2	14
族	group	1	2	14
化学键	chemical bond	2	1	45
离子键	ionic bond	2	1	46
共价键	covalent bond	2	1	47
离子化合物	ionic compound	2	1	47
共价化合物	covalent compound	2	1	47
吸热反应	endothermic reaction	2	2	51
放热反应	exothermic reaction	2	2	51
化学反应速率	chemical reaction rate	2	3	60
可逆反应	reversible reaction	2	3	64
化学平衡	chemical equilibrium	2	3	65
有机化合物	organic compound	3	1	81
烃	hydrocarbon	3	1	82
烷烃	alkane	3	1	84
同系物	homologous series	3	1	85
取代反应	substitution reaction	3	1	87
官能团	functional group	3	1	88
烃的衍生物	derivative of hydrocarbon	3	1	89

续表

术语或物质名称	英文	章	节	页
同分异构现象	isomerism	3	1	90
同分异构体	isomer	3	1	90
甲烷	methane	3	2	94
分馏	fractional distillation	3	2	95
裂化	cracking	3	2	96
裂解	pyrolysis	3	2	97
乙烯	ethylene	3	2	97
加成反应	addition reaction	3	2	98
干馏	dry distillation	3	2	99
苯	benzene	3	2	100
聚合反应	polymerization	3	2	101
高分子化合物	polymer	3	2	101
塑料	plastics	3	2	102
橡胶	rubber	3	2	103
纤维	fiber	3	2	103
乙醇	ethanol	3	3	108
羟基	hydroxyl	3	3	108
乙醛	acetaldehyde	3	3	110
乙酸	acetic acid	3	3	111
羧基	carboxyl	3	3	111
乙酸乙酯	ethyl acetate	3	3	113
酯化反应	esterification reaction	3	3	113
糖类	saccharides	3	3	113
葡萄糖	glucose	3	3	115
淀粉	starch	3	3	115
纤维素	cellulose	3	3	116
油脂	oils and fats	3	3	116
蛋白质	protein	3	3	117
氨基酸	amino acid	3	3	117

2. 本册教材中主要的实验内容

观察·思考	章	节	页
比较氕、氘、氚的原子结构	1	1	4
初识氢氧燃料电池	2	2	54
认识化学反应存在限度	2	3	63
化学平衡状态的改变	2	3	65
有机化合物的性质	3	1	81
甲烷分子的结构特点	3	1	82
水垢的去除	3	1	87
石蜡的分解	3	2	97
乙烯的化学性质	3	2	98
比较苯与乙烯的化学性质	3	2	100
淀粉的水解和葡萄糖的检验	3	3	114

活动·探究	章	节	页
比较钠、镁、钾元素原子的失电子能力	1	1	7
元素周期律初探	1	2	12
*第3周期元素原子得失电子能力的比较	1	3	22
*探究卤族元素性质的相似性和递变性	1	3	26
感受化学反应中的能量变化	2	2	51
*设计一个简单的原电池	2	2	55
*探究化学反应速率的影响因素	2	3	61
*搭建有机化合物分子的球棍模型	3	1	83
*探究乙醇的化学性质	3	3	109
*探究乙酸的化学性质	3	3	112
蛋白质的性质	3	3	118

［上述带 * 的实验为《普通高中化学课程标准（2017 年版）》注明的学生必做实验］

3. 常见元素中英文名称对照表

元素符号	中文名称（拼音）	英文名	元素符号	中文名称（拼音）	英文名
Al	铝（lǚ）	aluminum	Ag	银（yín）	silver
Ar	氩（yà）	argon	Au	金（jīn）	gold
B	硼（péng）	boron	Ba	钡（bèi）	barium
Be	铍（pí）	beryllium	Br	溴（xiù）	bromine
C	碳（tàn）	carbon	Ca	钙（gài）	calcium
Cl	氯（lǜ）	chlorine	Co	钴（gǔ）	cobalt
Cr	铬（gè）	chromium	Cu	铜（tóng）	copper
F	氟（fú）	fluorine	Fe	铁（tiě）	iron
Ga	镓（jiā）	gallium	Ge	锗（zhě）	germanium
H	氢（qīng）	hydrogen	He	氦（hài）	helium
Hg	汞（gǒng）	mercury	I	碘（diǎn）	iodine
K	钾（jiǎ）	potassium	Kr	氪（kè）	krypton
Li	锂（lǐ）	lithium	Mg	镁（měi）	magnesium
Mn	锰（měng）	manganese	N	氮（dàn）	nitrogen
Na	钠（nà）	sodium	Ne	氖（nǎi）	neon
Ni	镍（niè）	nickel	O	氧（yǎng）	oxygen
P	磷（lín）	phosphorus	Pb	铅（qiān）	lead
Pt	铂（bó）	platinum	Ra	镭（léi）	radium
Rn	氡（dōng）	radon	S	硫（liú）	sulfur
Sc	钪（kàng）	scandium	Se	硒（xī）	selenium
Si	硅（guī）	silicon	Sn	锡（xī）	tin
Sr	锶（sī）	strontium	Ti	钛（tài）	titanium
U	铀（yóu）	uranium	V	钒（fán）	vanadium
W	钨（wū）	tungsten	Xe	氙（xiān）	xenon
Zn	锌（xīn）	zinc			

4. 部分酸、碱和盐的溶解性表（室温）

阴离子 / 阳离子	OH^-	NO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	CO_3^{2-}
H^+		溶、挥	溶、挥	溶	溶、挥
NH_4^+	溶、挥	溶	溶	溶	溶
K^+	溶	溶	溶	溶	溶
Na^+	溶	溶	溶	溶	溶
Ba^{2+}	溶	溶	溶	不	不
Ca^{2+}	微	溶	溶	微	不
Mg^{2+}	不	溶	溶	溶	微
Al^{3+}	不	溶	溶	溶	—
Mn^{2+}	不	溶	溶	溶	不
Zn^{2+}	不	溶	溶	溶	不
Fe^{2+}	不	溶	溶	溶	不
Fe^{3+}	不	溶	溶	溶	—
Cu^{2+}	不	溶	溶	溶	—
Ag^+	—	溶	不	微	不

说明：“溶”表示可溶于水，“不”表示不溶于水，“微”表示微溶于水，“挥”表示具有挥发性，“—”表示不存在或遇到水就分解了。

元 素 周 期 表

原子序数 — 92 U — 元素符号，红色指放射性元素

元素名称，注 * 的是人造元素 — 铀

$5f^3 6d^1 7s^2$ — 价电子排布，加括号的表示可能的价电子排布

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

过渡元素

周期 \ 族	Ⅰ A 1	Ⅱ A 2	Ⅲ B 3	Ⅳ B 4	Ⅴ B 5	Ⅵ B 6	Ⅶ B 7	Ⅷ 8	Ⅷ 9	Ⅷ 10	Ⅰ B 11	Ⅱ B 12	Ⅲ A 13	Ⅳ A 14	Ⅴ A 15	Ⅵ A 16	Ⅶ A 17	0 18	电子层	0 族电子数
1	1 H 氢 $1s^1$ 1.008																	2 He 氦 $1s^2$ 4.003	K	2
2	3 Li 锂 $2s^1$ 6.941	4 Be 铍 $2s^2$ 9.012											5 B 硼 $2s^2 2p^1$ 10.81	6 C 碳 $2s^2 2p^2$ 12.01	7 N 氮 $2s^2 2p^3$ 14.01	8 O 氧 $2s^2 2p^4$ 16.00	9 F 氟 $2s^2 2p^5$ 19.00	10 Ne 氖 $2s^2 2p^6$ 20.18	L K	8 2
3	11 Na 钠 $3s^1$ 22.99	12 Mg 镁 $3s^2$ 24.31											13 Al 铝 $3s^2 3p^1$ 26.98	14 Si 硅 $3s^2 3p^2$ 28.09	15 P 磷 $3s^2 3p^3$ 30.97	16 S 硫 $3s^2 3p^4$ 32.06	17 Cl 氯 $3s^2 3p^5$ 35.45	18 Ar 氩 $3s^2 3p^6$ 39.95	M L K	8 8 2
4	19 K 钾 $4s^1$ 39.10	20 Ca 钙 $4s^2$ 40.08	21 Sc 钪 $3d^1 4s^2$ 44.96	22 Ti 钛 $3d^2 4s^2$ 47.87	23 V 钒 $3d^3 4s^2$ 50.94	24 Cr 铬 $3d^5 4s^1$ 52.00	25 Mn 锰 $3d^5 4s^2$ 54.94	26 Fe 铁 $3d^6 4s^2$ 55.85	27 Co 钴 $3d^7 4s^2$ 58.93	28 Ni 镍 $3d^8 4s^2$ 58.69	29 Cu 铜 $3d^{10} 4s^1$ 63.55	30 Zn 锌 $3d^{10} 4s^2$ 65.38	31 Ga 镓 $4s^2 4p^1$ 69.72	32 Ge 锗 $4s^2 4p^2$ 72.63	33 As 砷 $4s^2 4p^3$ 74.92	34 Se 硒 $4s^2 4p^4$ 78.97	35 Br 溴 $4s^2 4p^5$ 79.90	36 Kr 氪 $4s^2 4p^6$ 83.80	N M L K	8 18 8 2
5	37 Rb 铷 $5s^1$ 85.47	38 Sr 锶 $5s^2$ 87.62	39 Y 钇 $4d^1 5s^2$ 88.91	40 Zr 锆 $4d^2 5s^2$ 91.22	41 Nb 铌 $4d^4 5s^1$ 92.91	42 Mo 钼 $4d^5 5s^1$ 95.95	43 Tc 锝 $4d^5 5s^2$ 〔98〕	44 Ru 钌 $4d^7 5s^1$ 101.1	45 Rh 铑 $4d^8 5s^1$ 102.9	46 Pd 钯 $4d^{10}$ 106.4	47 Ag 银 $4d^{10} 5s^1$ 107.9	48 Cd 镉 $4d^{10} 5s^2$ 112.4	49 In 铟 $5s^2 5p^1$ 114.8	50 Sn 锡 $5s^2 5p^2$ 118.7	51 Sb 锑 $5s^2 5p^3$ 121.8	52 Te 碲 $5s^2 5p^4$ 127.6	53 I 碘 $5s^2 5p^5$ 126.9	54 Xe 氙 $5s^2 5p^6$ 131.3	O N M L K	8 18 18 8 2
6	55 Cs 铯 $6s^1$ 132.9	56 Ba 钡 $6s^2$ 137.3	57~71 La~Lu 镧系	72 Hf 铪 $5d^2 6s^2$ 178.5	73 Ta 钽 $5d^3 6s^2$ 180.9	74 W 钨 $5d^4 6s^2$ 183.8	75 Re 铼 $5d^5 6s^2$ 186.2	76 Os 锇 $5d^6 6s^2$ 190.2	77 Ir 铱 $5d^7 6s^2$ 192.2	78 Pt 铂 $5d^9 6s^1$ 195.1	79 Au 金 $5d^{10} 6s^1$ 197.0	80 Hg 汞 $5d^{10} 6s^2$ 200.6	81 Tl 铊 $6s^2 6p^1$ 204.4	82 Pb 铅 $6s^2 6p^2$ 207.2	83 Bi 铋 $6s^2 6p^3$ 209.0	84 Po 钋 $6s^2 6p^4$ 〔209〕	85 At 砹 $6s^2 6p^5$ 〔210〕	86 Rn 氡 $6s^2 6p^6$ 〔222〕	P O N M L K	8 18 32 18 8 2
7	87 Fr 钫 $7s^1$ 〔223〕	88 Ra 镭 $7s^2$ 〔226〕	89~103 Ac~Lr 锕系	104 Rf 𬬭 * $(6d^2 7s^2)$ 〔267〕	105 Db 𬭊 * $(6d^3 7s^2)$ 〔270〕	106 Sg 𬭳 * 〔269〕	107 Bh 𬭛 * 〔270〕	108 Hs 𬭶 * 〔270〕	109 Mt 鿏 * 〔278〕	110 Ds 鐽 * 〔281〕	111 Rg 錀 * 〔281〕	112 Cn 鎶 * 〔285〕	113 Nh 鉨 * 〔286〕	114 Fl 铁 * 〔289〕	115 Mc 镆 * 〔289〕	116 Lv 鈥 * 〔293〕	117 Ts 砬 * 〔293〕	118 Og 氿 * 〔294〕	Q P O N M L K	8 18 32 32 18 8 2

镧系	57 La 镧 $5d^1 6s^2$ 138.9	58 Ce 铈 $4f^1 5d^1 6s^2$ 140.1	59 Pr 镨 $4f^3 6s^2$ 140.9	60 Nd 钕 $4f^4 6s^2$ 144.2	61 Pm 钷 $4f^5 6s^2$ 〔145〕	62 Sm 钐 $4f^6 6s^2$ 150.4	63 Eu 铕 $4f^7 6s^2$ 152.0	64 Gd 钆 $4f^7 5d^1 6s^2$ 157.3	65 Tb 铽 $4f^9 6s^2$ 158.9	66 Dy 镝 $4f^{10} 6s^2$ 162.5	67 Ho 钬 $4f^{11} 6s^2$ 164.9	68 Er 铒 $4f^{12} 6s^2$ 167.3	69 Tm 铥 $4f^{13} 6s^2$ 168.9	70 Yb 镱 $4f^{14} 6s^2$ 173.0	71 Lu 镥 $4f^{14} 5d^1 6s^2$ 175.0
锕系	89 Ac 锕 $6d^1 7s^2$ 〔227〕	90 Th 钍 $6d^2 7s^2$ 232.0	91 Pa 镤 $5f^2 6d^1 7s^2$ 231.0	92 U 铀 $5f^3 6d^1 7s^2$ 238.0	93 Np 镎 $5f^4 6d^1 7s^2$ 〔237〕	94 Pu 钚 $5f^6 7s^2$ 〔244〕	95 Am 镅 * $5f^7 7s^2$ 〔243〕	96 Cm 锔 * $5f^7 6d^1 7s^2$ 〔247〕	97 Bk 锫 * $5f^9 7s^2$ 〔247〕	98 Cf 锎 * $5f^{10} 7s^2$ 〔251〕	99 Es 锿 * $5f^{11} 7s^2$ 〔252〕	100 Fm 镄 * $5f^{12} 7s^2$ 〔257〕	101 Md 钔 * $(5f^{13} 7s^2)$ 〔258〕	102 No 锘 * $(5f^{14} 7s^2)$ 〔259〕	103 Lr 铹 * $(5f^{14} 6d^1 7s^2)$ 〔262〕

后 记

鲁科版《普通高中教科书 化学》经教育部审定通过，共五册，包括必修两册、选择性必修《化学反应原理》《物质结构与性质》和《有机化学基础》三册。

本套教材的编写工作，认真贯彻《普通高中化学课程标准（2017 年版）》的要求，全面体现学生发展核心素养和化学学科核心素养，落实“立德树人”的根本任务，综合反映学生发展、社会发展和学科发展对普通高中化学教材在基础性、时代性、选择性方面的要求，遵循科学教育的规律，倡导积极主动的多样化学习方式和科学有效的学习策略，培养学生的创新精神和实践能力，在义务教育的基础上为进一步提高学生的核心素养构建新的发展平台。

全套教材由普通高中化学课程标准研制组负责人和修订组核心成员、北京师范大学王磊教授，及北京师范大学陈光巨教授共同担任主编。参加本版教材编写的人员有北京师范大学、北京大学、清华大学、首都师范大学、北京海淀教师进修学校等著名高校和教研机构的化学学科专家与化学教育专家，以及来自全国多所著名重点中学和区域教研机构的特级教师与中青年骨干教师。高水平的编写队伍、审读专家和教学实践试用团队，保证了全套教材的科学性、先进性和教学适宜性。

必修化学教材主编为王磊教授；参加必修第一册教材编写的核心作者有：胡久华、齐红涛、赵河林、黄燕宁、魏锐、潘鸿章、张福涛、孙敏；参加必修第二册教材编写的核心作者有：支瑶、刘宗寅、陈颖、卢忠林、于乃佳、张文朴、孙红保、范晓琼。

严宣申、高盘良、薛芳渝、曹居东、刘正平、王明召、尹冬冬、邢国文、门毅、刘翠、全芙君、支二娟、申敬红、常洪德等老师参与了教材编写的研讨和教学试用研究。史凡为教材修订做了许多助理工作。本套教材部分模型图片由北京海码迷笛多媒体技术有限公司制作，实验图片由济南德润高级中学协助拍摄，部分学生实验由陈庆雨协助拍摄。

此次教材修订编写过程中，许多高校学科专家对教材提出了诸多宝贵的修改建议。同时，从第一版教材 2004 年进入实验区以来，山东、广东、海南、宁夏、安徽、福建、河南、陕西、四川等省区的教育部门和广大教研人员、一线教师，通过多种方式对教材提出了宝贵意见和修改建议，并积极参与到此次修订编写、讨论和试教试用中。在此，不一一列出姓名，编写组对他们的热忱付出，表示衷心的感谢！

本套教材的编写得到了教育部教材局的关心和指导。山东科学技术出版社对本套教材的出版极为重视，为教材的编写和出版给予了大力支持。

本套教材中的部分图片引自有关图书资料，特向这些图片的制作者和有关图书的出版者表示感谢；因多种原因，个别图片的制作者和出版者未能联系上，特向他们表示歉意，请相关图片的作者与我们联系。

在此，向所有关心和支持本套教材编写、出版、发行的单位和同志致以诚挚的谢意！

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

北京师范大学基础教育化学教材编写委员会

2019 年 5 月

普通高中教科书

化 学

必修　第一册

必修　第二册

选择性必修1　化学反应原理

选择性必修2　物质结构与性质

选择性必修3　有机化学基础

普通高中教科书

化　学

必修　第二册

PUTONG GAOZHONG JIAOKESHU

HUAXUE BIXIU DI-ER CE

总 主 编　王　磊　陈光巨

本册主编　王　磊

主管单位：山东出版传媒股份有限公司

出 版 者：山东科学技术出版社

地址：济南市市中区舜耕路517号

邮编：250003　电话：(0531)82098088

网址：www.lkj.com.cn

电子邮箱：sdkj@sdcbcm.com

发 行 者：山东新华书店集团有限公司

地址：济南市市中区英雄山路189号

邮编：250002　电话：(0531)82797666

印 刷 者：山东新华印务有限公司

地址：济南市高新区世纪大道2366号

邮编：253074　电话：(0534)2671209

规格：大16开（210 mm × 297 mm）　印张：9　字数：196千字

版次：2019年7月第1版　2022年12月第8次印刷

ISBN 978-7-5331-9849-7　定价：10.27元

价格批准编序号：鲁发改价格核（2022）609013　举报电话：12345

绿色印刷产品

ISBN 978-7-5331-9849-7

9 787533 198497 >

定价：10.27元