

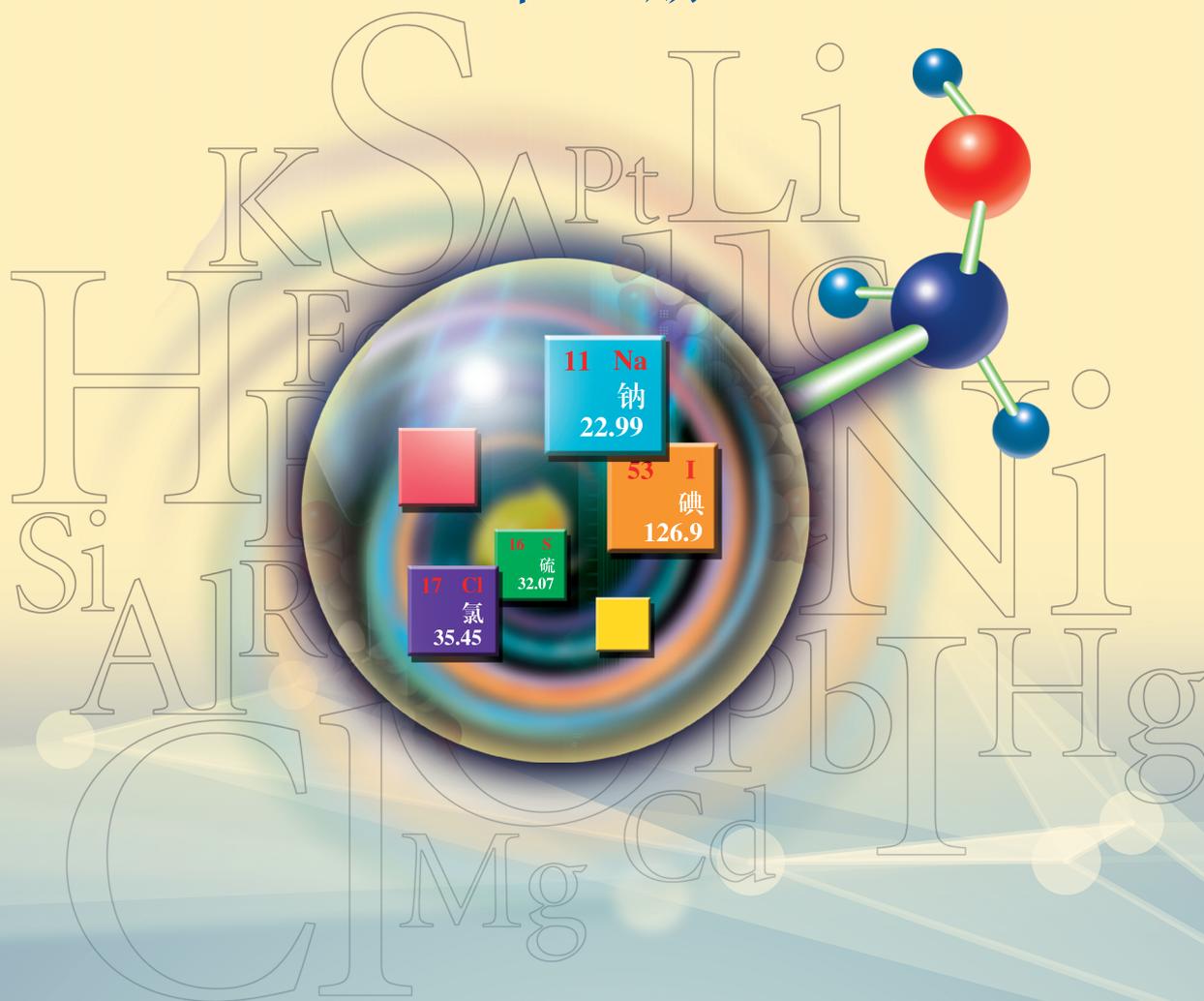
普通高中教科书



化 学

必修

第一册



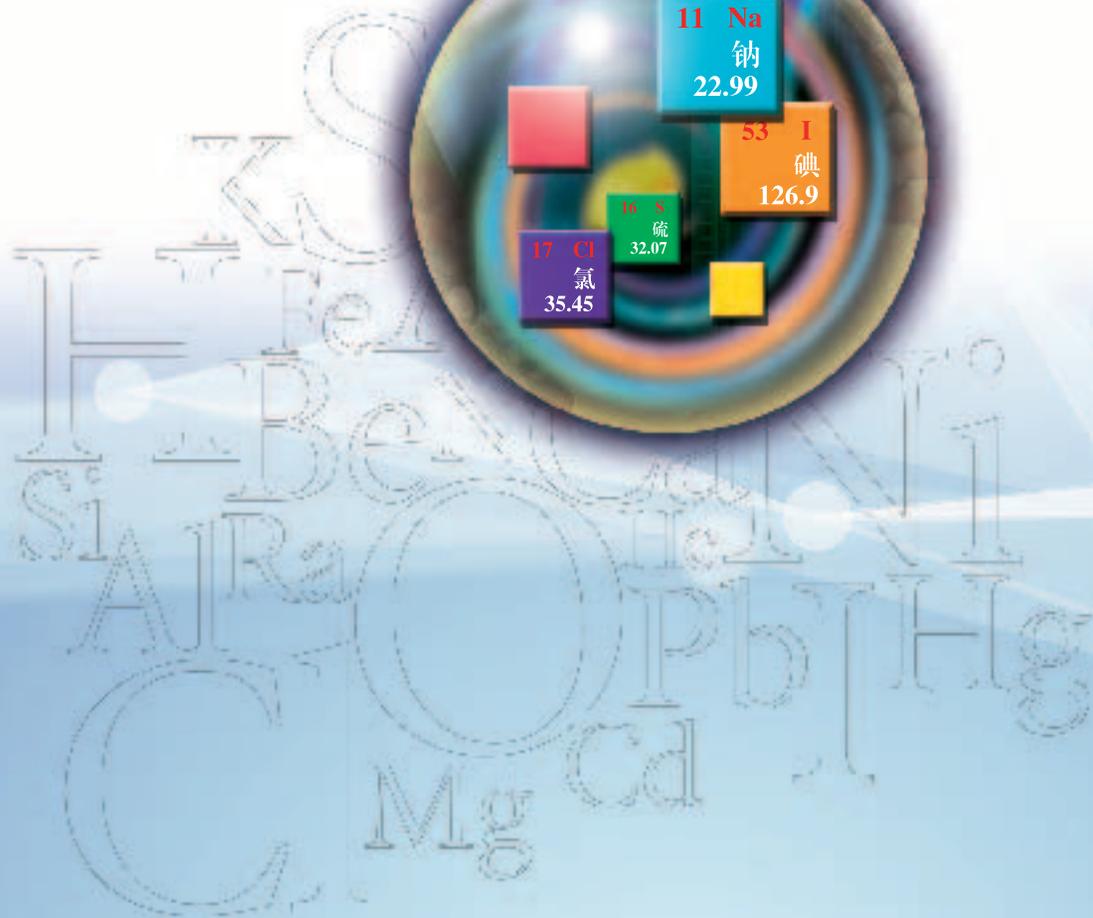
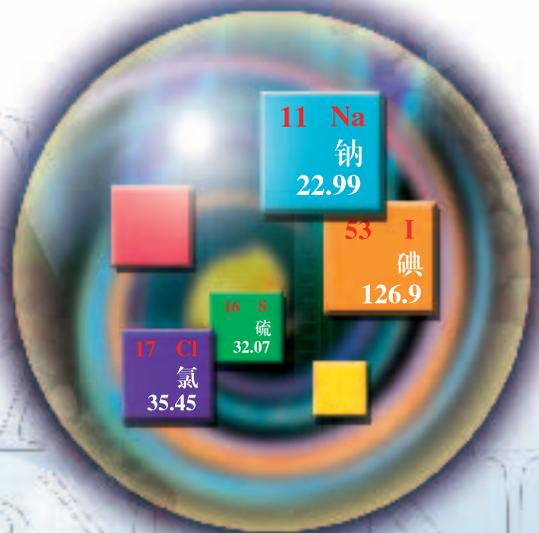
普通高中教科书

化 学

必修

第一册

主编 王祖浩



主 编 王祖浩

副 主 编 吴 星 刘宝剑 王云生

本 册 主 编 王祖浩

本册副主编 吴 星



写给同学们的话



CHEMISTRY

亲爱的同学们，祝贺你们进入高中这一人生的重要阶段。回顾初中化学学习的经历，同学们也许有过曲折，但更多的是快乐。初中化学虽然只是化学的启蒙，但你们已经初步了解了化学科学发展的历程，领略了化学符号的魅力，体验了实验探究的乐趣，初步锻炼了科学思维的能力。毫无疑问，高中阶段的化学课程将带给同学们更多的科学知识、更多动手和动脑学习的机会，帮助我们从中领悟化学博大精深的科学思想，进一步认识化学发展对人类文明的伟大贡献。

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

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

千姿百态的物质世界与高度发达的科学技术将一个飞速膨胀的知识系统呈现在我们眼前，引发了无数充满好奇的中学生的一系列疑问：物质世界为什么是这样的？为什么会发生这些变化？哪些证据能帮助我们预测未来？在“多样”与“变化”的背后，同学们或许已隐隐发现，物质世界的变化都有其内在的规律。高中化学课程将为同学们探索这些规律提供必要的基础。

如果说在初中阶段，我们只是泛舟荡漾在化学的河川之上，为沿途的旖旎风景所倾倒，那么一旦进入高中，我们会发现眼前的河面越发开阔，景色更加优美。扬起风帆，我们将遨游于神奇的化学海洋之中。

我细心观察过今天的高中学生，欣喜地发现，随着时代的进步，同学们的视野更为开阔，思维愈发活跃。老师们常常在为高中生各种新奇的创意与问题惊讶甚至烦恼的同时，不能不从内心叹服他们对化学内涵的深刻理解，以及表现出来的思维潜力。有了如此乐观的基础，在高中化学学习过程中，同学们能充分领略实验探究和科学方法的重要性，学会去寻找解决复杂问题的各种突破口，尝试用化学的眼光和思维去审视我们赖以生存的物质世界，增强对自然界、对社会的责任感，为日后参加社会决策打下较为扎实的知识基础，从而获益终身。

《普通高中教科书·化学》(必修)是高一年级起步的化学课程,她从一系列与我们变化的时代密切相关的专题和化学研究的方法展开,教材融合了化学发展的学科线索、社会的应用价值和高中生的认知特点,揭示了化学的基础知识和重要的思想观念,大力弘扬科学精神,用生动的事例阐明化学对人类社会可持续发展中面临重大挑战时作出的巨大贡献。

依据2017年修订完成的新版《普通高中化学课程标准》,我们积极探索化学课程学习对促进学生核心素养发展的重要影响,从内容选择、编写思路和活动设计等多个方面对化学教材进行了修订。

教材的主要栏目体现了作者对化学学科特点和化学必修课程学习的认识,希望有助于同学们在阅读过程中更好地理解化学。

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

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

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

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

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

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

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

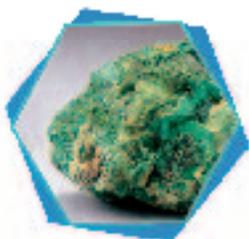
【科学史话】选取相关的、意义重大的化学史实,生动地还原其发展过程,帮助同学们能从科学家的角度去思考问题,感受中外科学家的创新精神。

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

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

王祖浩
2020年6月

目录



专题1 物质的分类及计量 1

第一单元 物质及其反应的分类 / 2

第二单元 物质的化学计量 / 9

第三单元 物质的分散系 / 17



专题2 研究物质的基本方法 27

第一单元 研究物质的实验方法 / 28

第二单元 溶液组成的定量研究 / 38

第三单元 人类对原子结构的认识 / 44

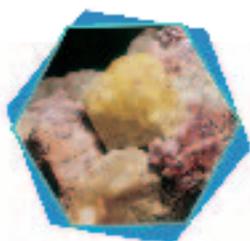


专题3 从海水中获得的化学物质 57

第一单元 氯气及氯的化合物 / 58

第二单元 金属钠及钠的化合物 / 67

第三单元 海洋化学资源的综合利用 / 78



专题4 硫与环境保护

89

- 第一单元 含硫化合物的性质 / 90
- 第二单元 硫及其化合物的相互转化 / 98
- 第三单元 防治二氧化硫对环境的污染 / 102



专题5 微观结构与物质的多样性

113

- 第一单元 元素周期律和元素周期表 / 114
- 第二单元 微粒之间的相互作用力 / 127
- 第三单元 从微观结构看物质的多样性 / 134

附录 I 相对原子质量表 / 147

附录 II 常见酸、碱和盐的溶解性表(20° C) / 148

附录 III 中英文名词对照表 / 149

元素周期表

专题

1

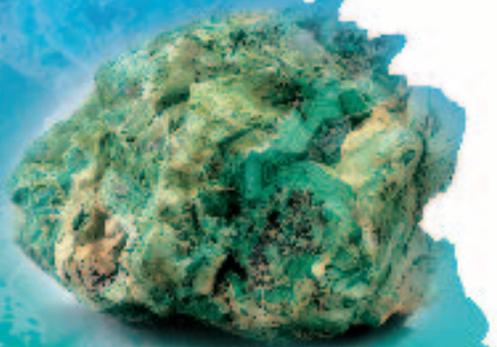
物质的分类及 计量

物质及其反应的分类

物质的化学计量

物质的分散系

化学是研究物质的组成、结构、性质、转化及其应用的一门自然科学。物质世界千姿百态，变化万千。在自然界、人类的生活和生产中，接触到的物质大多是组成和分散状态不同的混合物。在化学家的眼中，丰富多彩的化学物质可以按一定的标准进行分类，在一定条件下，物质可以发生化学反应生成新物质。化学家在研究中发现，构成物质的微粒质量很小，数量巨大，需要特殊的计量方法……



第一单元 物质及其反应的分类

物质世界丰富多彩，变化万千。在自然界中，100多种元素形成了上亿种组成、结构、性质各异的单质和化合物。同时，人工合成的物质种类还在不断增加。不同的物质在一定条件下可以发生相互转化。



目标预览

通过本单元内容的学习，要求同学们努力达到：

能通过观察和分析，辨识物质形态、物质性质及其变化的宏观现象；能从不同视角对物质及其变化进行分类。

从古代“点石成金”的朴素愿望到今天各种性能优越的新材料的诞生，人类在漫长的岁月中不倦地探索着物质及其变化规律，对物质世界的认识不断拓展和深入。现在，人们不仅能充分利用自然界提供的各种物质，还能应用物质转化的规律，制备和合成大量的新物质，提高人类的生活质量，推动社会的文明进步。



图 1-1 丰富多彩的化学物质

面对丰富多彩、变化无穷的物质世界，你是否想过：化学家是怎样研究物质组成、结构和变化的呢？

物质的分类

物质的种类繁多，为了方便研究，化学家需要将众多的物质按一定的标准进行分类，探索各类物质的共性和特性。

我们知道，对复杂的事物可以从不同的角度进行分类。那么，化学家是如何对物质进行分类的呢？

交流讨论



在日常生活和化学实验中，我们常会接触下列物质：

空气、乙醇（ C_2H_5OH ）、水、硫酸铵、铜、碘酒、碘（ I_2 ）、氧气、石墨、食盐水、硫酸、二氧化硫、氧化铜、氢氧化铁。

请将上述物质进行分类，并说明你分类的依据。将你的分类结果与同学交流。

方法导引

分 类

分类是指按照种类、等级或性质分别归类。进行分类时，人们往往通过比较事物间的相似性，把某些具有共同点或相似特征的事物归为一类，继而按类研究，以提高研究的效率。分类能使众多复杂的事物高度有序化，通常可根据事物的外部特征或事物的本质特征来进行分类。

我们知道，根据物质的存在状态、性质等可以对物质进行分类。例如，根据物质的存在状态，将物质分为气态物质、液态物质和固态物质；根据物质的导电性，将物质分为导体、半导体和绝缘体；根据物质在水中的溶解性，将物质分为可溶性物质、微溶性物质和难溶性物质。

根据物质的组成和性质，可以对物质进行图1-2所示的分类。

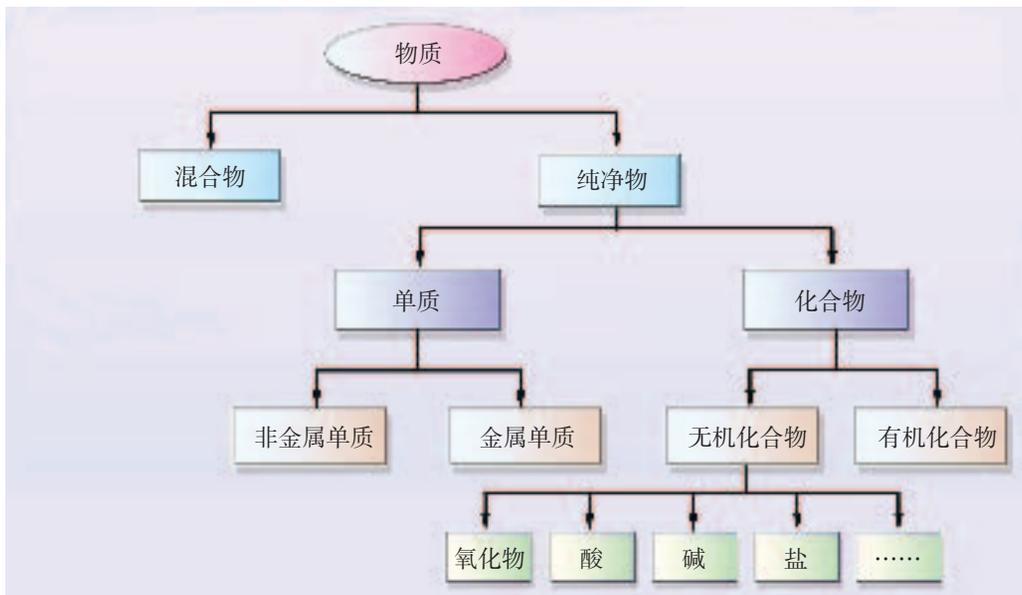


图 1-2 物质的分类



学以致用

实验室中有下列物质，请根据它们的组成和性质，尝试对其进行分类。

钠 (Na)、氯气 (Cl₂)、氯化铁 (FeCl₃)、硫酸 (H₂SO₄)、碳酸钙 (CaCO₃)、氧化钙 (CaO)、二氧化硅 (SiO₂)、氢氧化钠 (NaOH)、氢氧化铜 [Cu(OH)₂]、葡萄糖 (C₆H₁₂O₆)。

在图1-2中，对于氧化物、酸、碱、盐等各类无机化合物，还可以依据它们在组成、性质上的差异，继续进行更为细致的分类。

从化学性质上看，CaO、Na₂O等氧化物能与酸反应生成盐和水，这类氧化物称为**碱性氧化物** (basic oxide)。



CO₂、SO₂等氧化物能与碱反应生成盐和水，这类氧化物称为**酸性氧化物** (acid oxide)。



从组成上看，HCl等不含氧元素的酸，称为无氧酸；而H₂SO₄和HNO₃等含氧元素的酸，称为含氧酸。

从溶解性上看，NaOH、KOH等碱可溶于水，称为可溶性碱；Cu(OH)₂和Fe(OH)₃等碱难溶于水，称为难溶性碱或难溶性氢氧化物。

物质分类研究的价值

学科提炼



化学家根据物质的组成、状态、结构、性质等对物质进行分类。随着人们对物质结构及其变化研究的不断深入，物质的分类也将更加多样化。同一类物质在组成和性质方面往往具有相似性。对物质进行合理的分类，使表面上看起来比较杂乱的事物变得井然有序，有助于我们按物质的类别进一步研究物质的组成、结构和性质。

物质的转化

不同类别的物质在一定条件下可以相互转化。探索物质转化的规律，可以帮助人们制备更多生产、生活所需的新物质。

交流讨论



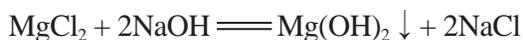
在初中阶段，我们已经学习了一些物质转化的知识。请以碳、钙两种元素的单质和化合物为例，写出下表中所列转化反应（标注必要的反应条件），讨论是否还有其他类型的转化反应并补充到表中。

表 1-1 物质间的转化

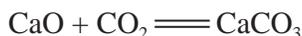
物质的转化反应	实例（化学方程式）
单质→化合物	
碱性氧化物→碱	
酸性氧化物→酸	
酸→盐	

物质之间的转化需要一定的条件。如在高温条件下，氧化铁和一氧化碳能发生反应，生成铁和二氧化碳，反应中金属氧化物中的金属元素转化为金属单质。煅烧碳酸钙可以得到氧化钙和二氧化碳，反应中盐转化为氧化物。在光照条件下，绿色植物能将二氧化碳和水转化为葡萄糖和氧气。

酸、碱、盐在溶液中发生复分解反应，通常有沉淀析出、气体放出或有水等物质生成。如 MgCl_2 溶液与 NaOH 溶液反应，生成难溶的氢氧化镁和氯化钠。



常见的酸性氧化物与碱性氧化物可以发生化合反应，生成盐类物质。例如：



排在金属活动性顺序表中氢前面的金属与稀盐酸（或稀硫酸）发生置换反应，生成氢气和盐。



学以致用

请列举你熟悉的某元素的单质及其不同类型化合物，尝试写出它们可能相互转化的化学方程式，并画出转化的关系图。

在化学发展的历史进程中，不少化学家在研究物质间转化反应的过程中作出了重大贡献。德国化学家维勒（F.Wöhler，1800—1882）研究尿素的合成就是其中一例。尿素的合成说明在一定条件下，无机化合物可以转化为有机化合物。



科学史话

人类首次将无机化合物转化为有机化合物

历史上人们一度认为，有机化合物只能由生物的细胞在一种特殊力量——生命力的作用下产生，人工合成有机物是不可能的。1828年，德国化学家维勒通过蒸发氰酸铵（ NH_4CNO ，一种无机化合物，可由氯化铵和氰酸银反应制得）水溶液得到了尿素 [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$]。尿素的合成揭开了人工合成有机化合物的序幕。

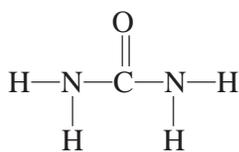


图1-3 尿素的分子结构

化学反应的分类

为了满足生产、生活的需要，在对物质进行分类的基础上，化学家进一步研究了各类物质的性质及其反应的规律。人们可以根据物质在转化过程中的特点，将化学反应分成不同的类型。

交流讨论



在初中阶段，我们根据反应物、生成物的类别和数量，将化学反应分为化合反应、分解反应、置换反应和复分解反应等基本类型。填写下表并用实例加以说明。

表 1-2 化学反应的类型

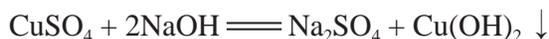
反应通式	反应类型	实例（化学方程式）
$A + B \rightleftharpoons C$		
$C \rightleftharpoons A + B$		
$AB + C \rightleftharpoons A + CB$		
$AB + CD \rightleftharpoons AD + CB$		

讨论上述四类反应实例中元素化合价变化的情况，你能得出什么结论？

根据化学反应中元素的化合价是否发生变化，可将化学反应重新进行分类。例如，铁在硫酸铜溶液中发生如下反应：



在上述反应中，Fe转化为 Fe^{2+} ，铁元素的化合价升高； Cu^{2+} 转化为Cu，铜元素的化合价降低。像这样有元素化合价发生变化的反应，称为**氧化还原反应**（oxidation-reduction reaction）。而元素化合价不发生变化的反应，称为**非氧化还原反应**。例如， CuSO_4 溶液与NaOH溶液反应，反应前后各元素的化合价均不发生变化。



学以致用



下列反应中，哪些是氧化还原反应？

- (1) $\text{Zn} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons \text{ZnSO}_4 + \text{H}_2 \uparrow$
- (2) $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} \xrightarrow{\text{高温}} 2\text{Fe} + 3\text{CO}_2$
- (3) $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Ca}(\text{OH})_2$
- (4) $\text{CaCO}_3 \xrightarrow{\text{高温}} \text{CaO} + \text{CO}_2 \uparrow$

理解应用

1. 从化学性质上看, SO_2 、 Na_2O 分别属于哪一类氧化物? 分别写出 SO_2 与足量 NaOH 溶液、 Na_2O 与稀硫酸反应的化学方程式。

2. 下面各组物质均可发生复分解反应, 请写出相应反应的化学方程式。

(1) Na_2SO_4 溶液与 BaCl_2 溶液;

(2) BaCO_3 与盐酸;

(3) 稀硫酸与 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 溶液。

3. 有人认为, 化合反应、分解反应、置换反应均为氧化还原反应, 复分解反应均为非氧化还原反应。你同意这种说法吗? 为什么? 将你的观点和理由与同学交流讨论。

4. 在生产、生活中, 我们会遇到各种各样的化学反应。下面是几个实例, 请写出相应反应的化学方程式并完成填空。

(1) 将生石灰与水反应, 可得到建筑用的熟石灰。

(2) 胃舒平中含有氢氧化铝, 可用来治疗胃酸 (主要成分为盐酸) 过多。

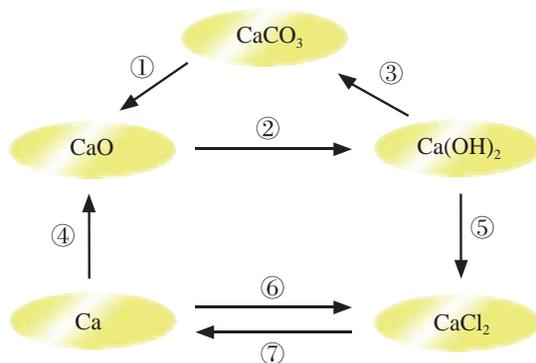
(3) 我国古代曾采用“湿法炼铜”, 并将其反应原理表述为“曾青 (天然硫酸铜) 得铁则化为铜”。

(4) 碳铵 (NH_4HCO_3) 是一种常用化肥, 在较高温度下, 它会发生分解, 生成氨气、水和二氧化碳, 故应保存于阴凉处。

(5) 我国的“西气东输”工程, 使东部地区家庭逐步用天然气 (主要成分为 CH_4) 代替煤气作为燃料。

在上述反应中, 属于化合反应的是_____, 属于分解反应的是_____, 属于置换反应的是_____, 属于复分解反应的是_____, 属于氧化还原反应的是_____。(填序号)

5. 电解熔融氯化钙可以得到金属钙和氯气, 钙在氯气中燃烧又能生成氯化钙。请根据已有知识, 按下图箭头符号所表示的物质间发生的转化, 写出相应反应的化学方程式, 并指出哪些是氧化还原反应。



第二单元 物质的化学计量

化学家在研究物质转化的过程中，除了关注反应物的选择、反应条件的控制等问题外，还要探索反应过程中物质间的定量关系。物质是由原子、分子、离子等微粒构成的，化学反应是物质所含微粒的重新组合。为了在物质及其变化的定量研究中，建立起物质的微粒与可观察的物理量之间的联系，人们在1971年第14届国际计量大会上确定增加一个基本的物理量——物质的量。



目标预览

通过本单元内容的学习，要求同学们努力达到：

认识化学反应中量变与质变的关系；能从构成物质的微观粒子的视角对物质进行计量；能基于物质的量研究物质的组成及其变化；体会定量研究对化学学科发展的重要作用。

物质的量

温故知新



我们已经知道，金刚石是由碳原子构成的，单个碳原子的质量非常小。科学研究发现，一个碳原子的质量约为 1.993×10^{-23} g。请通过计算得出12 g金刚石中大约含有多少个碳原子。

物质的量（amount of substance）是国际单位制中的基本物理量之一，符号为 n ，常用单位为摩尔（简称摩，符号为mol）。

1 mol某种微粒集合体中所含的微粒数与0.012 kg ^{12}C ^①中所含的原子数相同。0.012 kg ^{12}C 中所含的原子数称为阿伏加德罗常数，用 N_{A} 表示。 N_{A} 近似为 $6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ 。例如：

1 mol O_2 中约含 6.02×10^{23} 个氧分子；

1 mol Cu中约含 6.02×10^{23} 个铜原子；

1 mol H_2SO_4 中约含 6.02×10^{23} 个硫酸分子；

1 mol NaOH中约含 6.02×10^{23} 个 Na^+ 和 6.02×10^{23} 个 OH^- ；

n mol某种微粒集合体中所含微粒数约为 $n \times 6.02 \times 10^{23}$ 。

物质的量 (n)、阿伏加德罗常数 (N_{A}) 和微粒数 (N) 之间存在如下关系：

$$N = n \cdot N_{\text{A}}$$



学以致用

请计算：

(1) 0.5 mol H_2 中的氢分子数_____；

(2) 1 mol NaCl中的氯离子数_____；

(3) 1 mol H_2SO_4 中的氧原子数_____；

(4) 1.204×10^{24} 个水分子的物质的量_____；

(5) 9.03×10^{23} 个铁原子的物质的量_____。

1 mol分子、离子、原子、电子等所含的微粒数目相同，但由于不同微粒的质量一般不同，所以1 mol不同物质的质量通常也不同。例如：

1 mol铁原子的质量为56 g；

1 mol硫酸分子的质量为98 g；

1 mol Na^+ 的质量为23 g；

1 mol Cl^- 的质量为35.5 g。

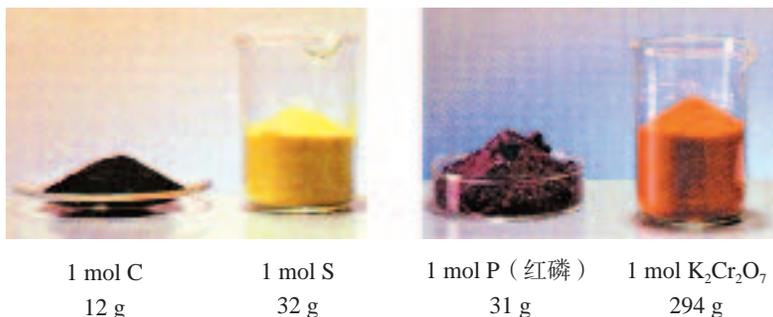


图 1-4 几种1 mol 物质的质量

① ^{12}C 是指原子核内含有6个质子、6个中子的碳原子。

单位物质的量的物质所具有的质量，称为该物质的**摩尔质量**（molar mass），用符号 M 表示。当物质的质量以克为单位时，摩尔质量在数值上等于该物质的**相对原子质量**（relative atomic mass）或**相对分子质量**（relative molecular mass），单位为 $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。例如，铁的摩尔质量为 $56\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ，水的摩尔质量为 $18\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ，氯化钠的摩尔质量为 $58.5\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。

物质的质量（ m ）、物质的量（ n ）和摩尔质量（ M ）之间存在如下关系：

$$m = n \cdot M$$

【例1】483 g $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 中所含 Na^+ 和 SO_4^{2-} 的物质的量各是多少？所含水分子的数目是多少？

解： $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 的相对分子质量为322，摩尔质量为 $322\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。

$$n(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O})}{M(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O})} = \frac{483\text{g}}{322\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}} = 1.50\text{mol}$$

$$\text{则：} n(\text{Na}^+) = 1.50\text{mol} \times 2 = 3.00\text{mol}$$

$$n(\text{SO}_4^{2-}) = 1.50\text{mol} \times 1 = 1.50\text{mol}$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = 1.50\text{mol} \times 10 = 15.0\text{mol}$$

$$N(\text{H}_2\text{O}) = n(\text{H}_2\text{O}) \times N_A = 15.0\text{mol} \times 6.02 \times 10^{23}\text{mol}^{-1} = 9.03 \times 10^{24}$$

答：483 g $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 中所含 Na^+ 的物质的量为3.00 mol， SO_4^{2-} 的物质的量为1.50 mol，水分子的数目约为 9.03×10^{24} 。

学以致用



参考例1的解题方式，完成下列计算。

- (1) 9.8 g H_2SO_4 的物质的量；
- (2) 5.3 g Na_2CO_3 的物质的量；
- (3) 0.25 mol CaCO_3 的质量；
- (4) 2.0 mol H_2O 的质量。

化学方程式不仅表示了在一定条件下的化学变化，也表示了反应物和生成物之间物质的量的关系。例如，依据化学方程式 $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{点燃}} 2\text{H}_2\text{O}$ 可知，2 mol H_2 和1 mol O_2 在点燃条件下完全反应，可以生成2 mol H_2O 。



交流讨论

写出下列反应的化学方程式，并说明反应物和生成物之间物质的量的关系。

(1) 氢氧化钠溶液与盐酸反应。

(2) 氧化铁在高温下与一氧化碳反应。

(3) 氯酸钾受热分解生成氧气和氯化钾。

(4) 过氧化氢 (H_2O_2) 分解生成氧气和水。

气体摩尔体积

在日常生活中，我们可以看到的宏观物质具有不同的聚集状态，如气态、液态和固态。同一种物质在不同的温度和压强下也可呈现出不同的聚集状态，这些状态生动地反映了物质世界的多样性。从微观上考察，物质是原子、分子或离子的聚集体。



交流讨论

生活经验告诉我们：固体具有固定的形状，液体、气体没有固定的形状；气体容易被压缩，而固体、液体不易被压缩。

为什么固态、液态和气态物质的某些性质存在差异？这与物质的微观结构有何联系？

在固态、液态、气态物质中，微粒的运动方式、微粒之间的距离是不同的。不同聚集状态的物质微观结构上的差异导致了物质性质的不同。

表 1-3 不同聚集状态物质的微观结构与宏观性质

聚集状态	微观结构	微粒的运动方式	宏观性质
固态	微粒排列紧密，微粒间的空隙很小	在固定的位置上振动	有固定的形状，几乎不能被压缩
液态	微粒排列较紧密，微粒间的空隙较小	可以自由移动	没有固定的形状，不易被压缩
气态	微粒间的距离较大	可以自由移动	没有固定的形状，容易被压缩

我们已经知道，1 mol 任何微粒的集合体所含的微粒数目都相同，但1 mol 不同物质的质量往往不同。那么，1 mol 不同物质的体积是否相同呢？

交流讨论



1. 已知下列物质的密度，试计算1 mol 这些物质的体积，将结果填入下表。

表 1-4 1 mol 不同物质的体积

物质	摩尔质量/($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)	密度	1 mol 物质的体积
Al	26.98	$2.70\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$	
Fe	55.85	$7.86\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$	
H_2O	18.02	$0.988\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$	
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	46.07	$0.789\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$	
H_2	2.016	$0.089\text{ 9 g}\cdot\text{L}^{-1}$	
N_2	28.02	$1.25\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$	
CO	28.01	$1.25\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$	

说明：① 固体、液体密度均为293 K时的测定值，气体密度为 $1.01\times 10^5\text{ Pa}$ 、273 K时的测定值。

② K (开尔文，简称开) 是国际单位制中热力学温度 (T) 的单位，该温度与摄氏温度的关系为： $T(\text{K}) = 273.15 + t(\text{°C})$

2. 影响物质体积的因素可能有哪些？请结合这些因素尝试对以上计算结果作出解释。

在温度和压强一定时，物质的体积与物质所含微粒的数目、微粒的大小和微粒之间的距离有关。

任何1 mol 固态物质或液态物质所含的微粒数相同。微粒之间的距离很小，但微粒的大小不同，所以1 mol 固态物质或液态物质的体积往往是不同的（图1-5）。

任何1 mol 气态物质所含的微粒数相同。虽然微粒的大小不同，但微粒之间的距离要比微粒本身的直径大很多倍，所以1 mol 气态物质的体积主要取决于气态物质中微粒之间的距离。这种距离与外界的温度、压强有关。当温度、压强一定时，任何具有相同微粒数的气体都具有大致相同的体积。



图 1-5 通常条件下，1 mol 水、氯化钠和氧气的体积

我们将单位物质的量的气体所占的体积称为**气体摩尔体积**（molar volume of gas），用符号 V_m 表示，常用单位为 $L \cdot mol^{-1}$ 或 $m^3 \cdot mol^{-1}$ 。大量的科学实验研究表明，在标准状况（273 K、101 kPa）下，1 mol 任何气体所占的体积都约为22.4 L，即在标准状况下，气体摩尔体积约为 $22.4 L \cdot mol^{-1}$ 。

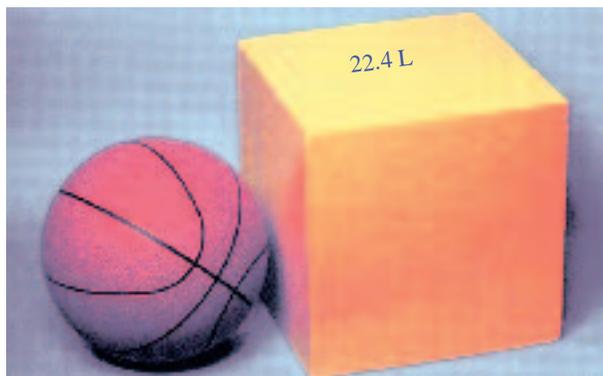


图 1-6 标准状况下，1 mol 气体的体积和1只篮球的体积

气体的物质的量（ n ）、体积（ V ）和气体摩尔体积（ V_m ）之间存在如下关系：

$$V = n \cdot V_m$$

【例2】0.464 g 氦气的物质的量为多少？在标准状况下，这些氦气的体积为多少？
解：

$$n(\text{He}) = \frac{m(\text{He})}{M(\text{He})} = \frac{0.464 \text{ g}}{4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.116 \text{ mol}$$

标准状况下氦气的体积：

$$V(\text{He}) = n(\text{He}) \cdot V_m = 0.116 \text{ mol} \times 22.4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \approx 2.60 \text{ L}$$

答：氦气的物质的量为0.116 mol，在标准状况下，这些氦气的体积约为2.60 L。

学科提炼



物质的量是宏观与微观联系的桥梁

物质的量不仅可以反映物质的质量、微粒数目，而且可以与气态物质在一定温度、压强下的体积相联系，从而在宏观物质和微观粒子之间建立了桥梁。运用物质的量可以帮助我们更好地对物质的组成和化学反应进行定量研究。

理解应用

- 下列说法中正确的是 ()
 - 摩尔是表示物质质量的单位
 - 物质的量就是指物质的质量
 - 摩尔是表示物质所含微粒个数的物理量
 - 物质的量适用于计量分子、原子、离子等粒子的集合体
- 下列有关气体摩尔体积的说法中，错误的是 ()
 - 当温度、压强一定时，任何具有相同数目微粒的气体都具有大致相同的体积
 - 单位物质的量的气体所占的体积称为气体摩尔体积
 - 在标准状况下，气体的摩尔体积都约为 $22.4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$
 - 在标准状况下， 1 mol 水的体积约为 22.4 L
- 试根据固态（或液态）物质的微观结构特征，说明为什么物质的量不同的不同固体（或液体）的体积不同。
- 填写下表。

物质	摩尔质量/ $(\text{g} \cdot \text{mol}^{-1})$	质量/g	物质的量/mol	分子数
O_2		8.0		
H_2SO_4				3.01×10^{23}
H_2O			0.5	

- 5.6 g 氮气在标准状况下的体积为_____，含有氮分子的数目为_____。
- 40.5 g 某金属氯化物 MCl_2 中含有 0.6 mol Cl^- ，则该氯化物的摩尔质量为_____，金属M的相对原子质量为_____。

7. 按要求填写下列空格。

(1) 39 g Na_2O_2 中 Na^+ 的数目为_____。

(2) 1.204×10^{24} 个水分子的质量为_____。

(3) 现有标准状况下 CO 和 CO_2 混合气体 6.72 L, 其质量为 10 g, 则此混合气体中, CO 和 CO_2 的物质的量之比是_____。

(4) 9.2 g 氮的氧化物 NO_x 中 N 原子的物质的量为 0.2 mol, 则 x 的数值为_____。

8. 现有下列三种气体: a. 32 g CH_4 , b. 约含有 6.02×10^{23} 个 HCl 分子的氯化氢气体, c. 标准状况下 33.6 L NH_3 。请按物理量由小到大的顺序排列:

(1) 质量_____ (填字母, 下同)。

(2) 分子数目_____。

(3) 相同状况下气体的体积_____。

(4) 含有氢原子的数目_____。

9. 已知每 100 g 葡萄糖中含碳元素 40.00 g、氢元素 6.67 g, 其余为氧元素, 试求葡萄糖中碳、氢、氧 3 种元素的物质的量之比。

10. 从石灰窑排出的气体的主要成分是二氧化碳。若排出的二氧化碳气体在标准状况下的体积为 $2\ 000\ \text{m}^3$, 求这些二氧化碳气体的质量。

第三单元 物质的分散系

在日常生活中，我们接触的物质大多是混合物。一种或几种物质可以分散到另一种物质中。不同组成和分散状态的混合物在自然界、人类生活和工农业生产中都有着广泛的应用。



目标预览

通过本单元内容的学习，要求同学们努力达到：

能根据混合物宏观性质的差异，分析其组成特点，并按分散质粒子大小对分散系进行分类；能理解电解质及电离的概念，并能用化学符号描述电解质溶液的组成。

常见的分散系

食盐分散到水中形成溶液，泥沙分散到水中形成悬浊液，植物油分散到水中形成乳浊液。溶液、悬浊液和乳浊液在组成上有何区别？各有什么特性？

一般来说，我们把由一种或几种物质（称为分散质）分散到另一种物质（称为分散剂）中形成的混合物体系称为**分散系**（dispersion system）。如我们已经熟知的溶液就是一种均一、稳定的分散系，其中溶质就是溶液分散系的**分散质**（dispersate），而溶剂就是该分散系的**分散剂**（dispersant）。

我们知道，溶液中的分散质主要以分子或离子的形式存在，其粒子的直径非常小，而悬浊液和乳浊液的分散质粒子的直径就比溶液的大得多。为了便于研究不同的混合物分散系，人们常用分散质粒子直径的大小作为标准来对它们进行分类和比较。

通常情况下，我们把分散质粒子的直径大于 10^{-7} m的分散系叫作**浊液**（悬浊液或乳浊液），分散质粒子的直径在 10^{-9} ~ 10^{-7} m之间的分散系叫作**胶体**（colloid），分散质粒子的直径小于 10^{-9} m的分散系叫作**溶液**。

胶 体

胶体是一种较为特殊，应用广泛的分散系。胶体分散质粒子的直径介于溶液和浊液之间，因而胶体表现出一些特殊的性质。



实验探究

1. 胶体的性质与溶液的性质有何不同？下面的实验将帮助我们进行探究。请将观察到的实验现象和得出的结论填入表1-5。

【实验1】将盛有硫酸铜溶液和氢氧化铁胶体的两只小烧杯分别置于暗处，用聚光手电筒（或激光笔）照射，从垂直于光线的方向观察实验现象。



硫酸铜溶液



氢氧化铁胶体

图 1-7 溶液、胶体在光照射下的现象

【实验2】在两只烧杯中分别加入相同量的含有悬浮颗粒物的浑浊的水，再向其中一只烧杯中加入适量氢氧化铁胶体，搅拌后静置片刻，比较两只烧杯中液体的浑浊程度。

表 1-5 胶体的性质实验

实验序号	实验现象	主要结论
实验1		
实验2		

2. 根据对以上实验现象的分析，回答下列问题：
- (1) 如何用简便的方法区分胶体和溶液？
 - (2) 氢氧化铁胶体常用来净水，为什么？

通过实验发现，当光束通过胶体时，在垂直于光线的方向可以看到一条光亮的通路，该现象称为**丁达尔效应**（Tyndall effect）。实验室中可用丁达尔效应区分胶体和溶液。氢氧化铁胶体的胶粒具有吸附性，能吸附水中的悬浮颗粒物并沉降，因此常用于净水。明矾能够净水，也是因为明矾溶于水后能形成氢氧化铝胶体。

拓展视野

胶体的应用

胶体在自然界尤其是生物界普遍存在，其应用领域正在不断扩大，形成了化学研究的重要分支——胶体与表面化学。

在金属、陶瓷、聚合物等材料中加入固态胶体粒子，不仅可以改善材料的耐冲击强度、耐断裂强度、抗拉强度等机械性能，还可以改善材料的光学性质。有色玻璃就是将某些胶态金属氧化物分散于玻璃中制成的。

医学上越来越多地利用高度分散的胶体来检验或治疗疾病，如胶态磁流体治癌术是将磁性物质制成胶体粒子，这种粒子作为药物的载体，在磁场作用下将药物送到病灶，从而提高疗效。

国防工业中有些火药、炸药须制成胶体。一些纳米材料的制备，冶金工业中的选矿，石油原油的脱水，塑料、橡胶及合成纤维等的制造都会用到胶体。

电解质溶液

温故知新



可溶性酸、碱、盐溶于水形成的溶液具有导电性，试从微观角度解释其原因。

在初中我们已经知道，NaCl、NaOH和HCl等物质溶于水后，在水分子的作用下产生能够自由移动的水合离子，从而使溶液具有导电性。如果把NaCl、NaOH等固体加热至熔融状态，它们也会产生自由移动的离子，也具有导电性。

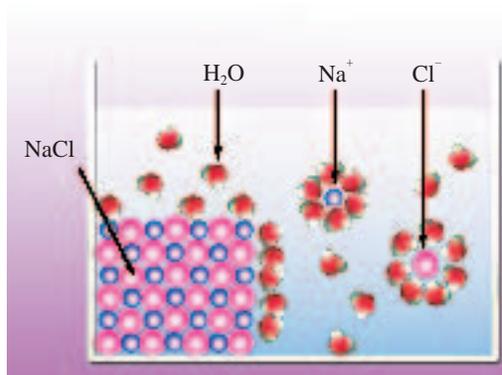
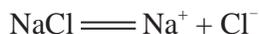
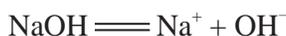
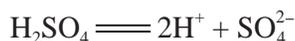


图 1-8 氯化钠在水中的电离

这些在水溶液或熔融状态下能导电的化合物叫作**电解质** (electrolyte)。常见的酸、碱、盐大多是电解质。电解质在水溶液中或熔融状态下产生自由移动的离子的过程称为**电离** (ionization)。

电解质的电离通常用**电离方程式** (ionization equation) 表示。电解质溶于水后生成水合离子，但为了书写方便，常写成简单离子的形式。

H_2SO_4 、 NaOH 、 NaCl 溶于水后完全电离为水合阴、阳离子，它们的电离方程式可表示为：



对可溶性电解质的电离进行考察，可以得出如下结论：

HCl 、 H_2SO_4 等酸在水溶液中都能电离出 H^+ ，而且溶液中所有的阳离子都是 H^+ 。从电离的角度看，酸是电离时生成的阳离子全部是 H^+ 的化合物。

NaOH 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 等碱在水溶液中都能电离出 OH^- ，而且溶液中所有的阴离子都是 OH^- 。从电离的角度看，碱是电离时生成的阴离子全部是 OH^- 的化合物。

NaCl 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 等盐在水溶液中都能电离出金属阳离子（或铵根离子）和酸根阴离子。

然而，蔗糖、酒精等化合物，无论是在水溶液中，还是在熔融状态下均以分子形式存在，因而不能导电，这样的化合物叫作**非电解质** (non-electrolyte)。葡萄糖、油脂等有机化合物大多是非电解质。

可见，从分子或离子层面更深入地考察溶液的组成，可以解释电解质溶液和非电解质溶液的性质差异。

学以致用



1. 下列物质中, 哪些溶于水后能够发生电离? 请写出相应的电离方程式。

氯化氢 (HCl)、硝酸铵 (NH_4NO_3)、氢氧化钡 [$\text{Ba}(\text{OH})_2$]、葡萄糖 ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)、硝酸银 (AgNO_3)、氯化钡 (BaCl_2)、明矾 [$\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$] (一种可溶性硫酸盐)。

2. 下列四组物质的水溶液中, 哪几组含有的离子种类完全相同?

- ① NH_4Cl KNO_3 Na_2SO_4
 ② K_2SO_4 NaNO_3 NH_4Cl
 ③ NH_4NO_3 K_2CO_3 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ NaCl
 ④ NaCl $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ K_2SO_4 NaNO_3

正确分析和判断物质在水溶液中能否电离, 电离生成哪些离子, 有助于探索物质在水溶液中可能发生的化学反应。

学科提炼



物质研究的新视角——分散系

自然界中存在多种分散系。化学家依据分散质粒子直径的大小, 将混合物体系划分为溶液、胶体和浊液三大类。这一分类深入到物质的微观层面, 揭示了不同分散系的组成特点。分散系的研究为解释自然现象和生命现象、新材料的工业制备及应用提供了重要的理论基础。

理解应用

1. 下列有关电解质的说法中, 正确的是 ()
- A. 在水溶液中能导电的物质都是电解质
 B. 电解质都易溶于水
 C. 电解质溶于水后产生能够自由移动的水合离子
 D. 电解质必须在水溶液中才能发生电离

2. 当光束通过下列分散系时, 一定产生明显的丁达尔效应的是 ()

- A. 硫酸钡悬浊液 B. $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体
C. 碘酒 D. 葡萄糖水

3. 用特殊的方法把固体加工成纳米级 (直径为 $1 \sim 100 \text{ nm}$, $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) 的超细粉末粒子, 可制得纳米材料。下列分散系中, 分散质粒子的直径和这种超细粉末粒子的直径具有相同数量级的是 ()

- A. 溶液 B. 胶体
C. 悬浊液 D. 乳浊液

4. 现有下列物质:

空气、氧气、食盐水、氢氧化钾、铜、碳酸氢钠、蔗糖、酒精。

(1) 请依据物质的组成和性质对以上物质进行分类。

(2) 以上物质中, 属于电解质的是_____, 属于非电解质的是_____。

5. 已知磷酸钠 (Na_3PO_4) 是电解质, 在水溶液中能完全电离。

(1) 请写出 Na_3PO_4 在水溶液中的电离方程式。

(2) 若将 $164 \text{ g Na}_3\text{PO}_4$ 溶于足量水中配成溶液, 则溶液中 Na^+ 的物质的量为多少?

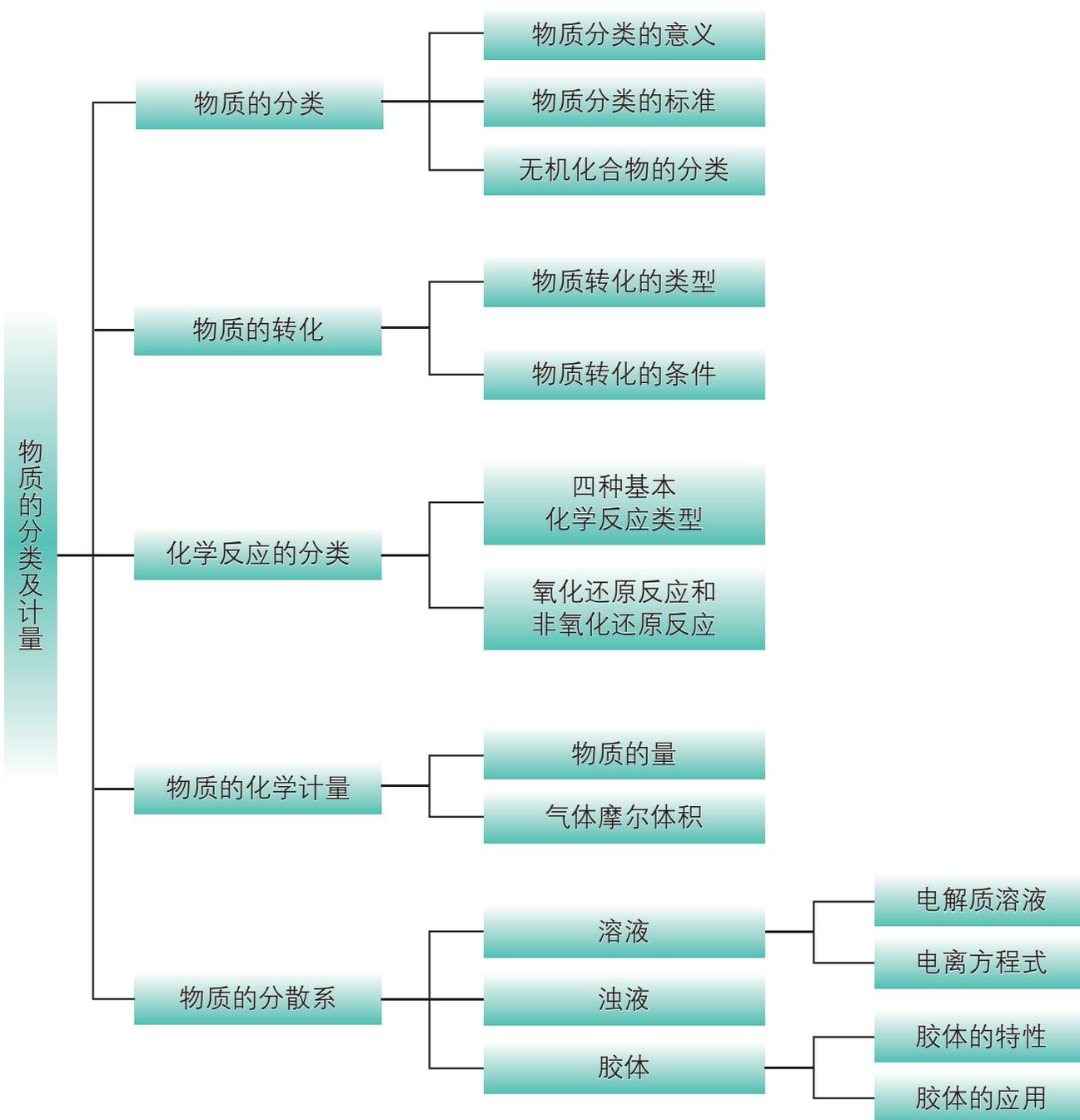
6. 在无土栽培中, 需配制一定组成的植物营养液。已知某植物营养液的配方为 0.3 mol KCl 、 $0.2 \text{ mol K}_2\text{SO}_4$ 、 0.1 mol ZnSO_4 和 $1 \text{ L H}_2\text{O}$ 。若以 KCl 、 K_2SO_4 、 ZnCl_2 和 $1 \text{ L H}_2\text{O}$ 为原料配制这种植物营养液, 需三种溶质各多少克?

7. 填写下表。

分散系	分散质粒子大小	主要特征	举例
溶液			
胶体			
浊液			

8. 胶体区别于其他分散系的本质特征是什么? 举例说明胶体的应用。

建构整合



回顾与总结

请参照下列问题或线索，回顾和总结本专题的学习内容。

✓ 为什么要将物质进行分类？通常从哪些角度对物质进行分类？请试着将你所知道的钠的化合物进行分类。

✓ 化学反应通常需要在一定的条件下才能进行。请归纳化学反应的类型，分析你所知道的化学反应发生的条件。

✓ 各举一例酸性氧化物与碱溶液、碱性氧化物与酸溶液的反应，写出相关化学方程式。

✓ 什么是氧化还原反应和非氧化还原反应？请各举一个实例加以说明。

✓ 什么是物质的量？科学家为什么要引入物质的量？

✓ 什么是阿伏加德罗常数？ n mol某种微粒集合体中所含微粒数约为多少？

✓ 气体摩尔体积的含义是什么？你能从微观角度进行解释吗？

✓ 你能解释下列式子的意义吗？

$$N = n \cdot N_A \quad m = n \cdot M \quad V = n \cdot V_m$$

✓ 常见的分散系有哪几种？它们是以什么标准进行分类的？

✓ 如何通过简单的实验方法区分溶液和胶体？

✓ 举例说明胶体在日常生活和科学技术中的应用。

✓ 什么是电解质和非电解质？试举例说明。

✓ 举例说明如何书写电离方程式。

综合评价

1. 下列事实与胶体无关的是 ()

- A. 用明矾净水
- B. 植物油与水混合, 充分振荡后可形成油水混合物
- C. 光线透过树叶间的缝隙射入密林中时, 会看到一道道光柱
- D. 将纳米二氧化硅颗粒 (直径1~100 nm) 均匀分散到树脂中形成的分散系

2. 科学家在研究化学物质时, 常常需要对物质进行分类, 以便对同类物质的组成和性质进行深入研究。下面每组物质中, 都有一种与其他物质不属于同一类, 请写出该物质的化学式, 并说明理由。

- (1) Mg O₂ N₂ NO
- (2) SO₂ CO₂ SiO₂ NH₃
- (3) CuO MgO Fe₂O₃ CO₂
- (4) H₂SO₄ NaHCO₃ HNO₃ HCl
- (5) NaOH Na₂CO₃ C₁₂H₂₂O₁₁ (蔗糖) HNO₃

3. 有些袋装食品使用的干燥剂的主要成分是生石灰 (CaO)。

- (1) 生石灰属于哪种类别的物质?
- (2) 写出生石灰作干燥剂所发生反应的化学方程式。
- (3) 生石灰还可以与哪些类别的物质发生化学反应? 列举两例并写出化学方程式。
- (4) 所用的干燥剂能否长期持续地起干燥作用? 为什么?
- (5) 你还知道哪些物质可以用作干燥剂? 试一一列出。

4. 下列物质中, 哪些属于电解质? 请写出这些电解质在水中的电离方程式。



5. 下列哪些反应属于氧化还原反应? 请说明判断的依据。

- (1) $C + H_2O(g) \xrightarrow{\text{高温}} CO + H_2$
- (2) $Cu_2(OH)_2CO_3 \xrightarrow{\Delta} 2CuO + CO_2 \uparrow + H_2O$
- (3) $Cu + 2AgNO_3 = Cu(NO_3)_2 + 2Ag$
- (4) $2CO + O_2 \xrightarrow{\text{点燃}} 2CO_2$

6. 实验室常用加热高锰酸钾的方法制取少量氧气。

- (1) 请写出该反应的化学方程式。
- (2) 现欲制取 1.12 L (标准状况) 氧气, 理论上需要消耗多少克高锰酸钾?

7. 咖啡中含有咖啡因（化学式为 $C_8H_{10}N_4O_2$ ），咖啡因能兴奋中枢神经、消除疲劳。如果一杯咖啡含有0.194 g咖啡因，你知道这杯咖啡里含有多少个咖啡因分子吗？

8. 顺铂 [化学式为 $PtCl_2(NH_3)_2$] 是一种用于治疗癌症的药物，一片顺铂药片中含顺铂的质量为 3×10^{-4} g，那么：

(1) 一片顺铂药片中顺铂的物质的量是多少？

(2) 一片顺铂药片中顺铂所含氮原子的物质的量和数目各是多少？

9. 下面是某地市场上销售的一种加碘食盐包装袋上的部分文字说明。

配料	氯化钠 (NaCl)、碘酸钾 (KIO ₃)
含碘量	20 ~ 30 mg·kg ⁻¹
保质期	18个月
食用方法	勿长时间炖炒
贮藏指南	避热、避光、密封、防潮

(1) 加碘盐不能长时间炖炒，且应避热、避光保存，你认为可能的原因是什么？

(2) 实验分析发现，某批加碘盐中 KIO₃ 的含量为 53.5 mg·kg⁻¹。试计算每千克该加碘盐中 KIO₃ 的物质的量和碘元素的质量。

(3) 若成人每天需摄入 0.15~0.20 mg 碘元素才能满足人体健康的需要，试通过计算说明成人平均每天食用 6.0 g (2) 中加碘盐能否获得所需要的碘元素。

10. 溶液、胶体和浊液是常见的分散系，它们之间的主要区别是什么？在两只烧杯中分别盛有淀粉溶液和氯化钠溶液，如何区分它们？写出实验步骤、实验现象及结论。

实验步骤	实验现象	结论

专题

2

研究物质的 基本方法

研究物质的实验方法

溶液组成的定量研究

人类对原子结构的认识

从古至今，人类在探索物质世界的漫长过程中，不断实践、总结和反思，积累了丰富的研究物质的实验方法。随着科学技术的进步，科学家在理论和实践结合的基础上不断开拓创新，从宏观到微观，从定性到定量，提炼出一系列研究物质的基本方法。这些基本的研究方法，是化学学习的重要内容。



第一单元 研究物质的实验方法

实验是研究物质组成、结构和性质的重要方法。借助实验，化学家得以分离和提纯所需要的物质，确定组成物质的元素及其含量，解析物质的微观结构，揭示化学现象的本质。科学的实验方法为化学家打开物质世界的大门提供了一把金钥匙。



目标预览

通过本单元内容的学习，要求同学们努力达到：

具有安全意识；能规范使用常见的化学实验仪器；能根据物质的性质设计物质分离提纯和检验的实验方案，完成实验操作；能仔细观察、准确记录实验现象，能结合现象进行分析，并运用化学原理进行解释和推断。

实验安全与基本规范

良好的安全防护意识和必要的实验安全措施是进行化学实验的前提。同学们在进入实验室之前，应做好预习和实验准备，熟悉实验所需的药品，掌握仪器、药品安全使用的要领，理解、掌握实验原理，熟悉实验步骤和操作要求。

在实验过程中应集中注意力，实验操作要规范。取用药品前须仔细核对所需药品与试剂瓶上的标签是否一致，仔细阅读使用说明，正确取用。仔细观察实验现象，如实记录，认真处理实验数据，分析实验结果，写好实验报告。同组实验的同学之间要分工协作，共同完成实验任务。遇到突发状况时，应沉着冷静，采取正确的处理方法，并及时报告老师。

在实验中应注意环境保护，减少实验排出的废气、废液和固体废物对环境的影响。实验后应将药品和所用仪器收拾干净，保持实验室整洁卫生。

拓展视野

危险化学品的分类



图 2-1 常见危险化学品的分类标识

物质的分离提纯

化学家在研究物质的组成和性质时，首先要获得纯净的物质，以避免其他物质的干扰。我们所见到的各种各样的物质，无论是自然界存在的，还是人工制备的，大多是混合物。因此，在研究某物质时就要先将该物质从混合物中分离出来，并加以提纯。

温故知新



你在生活中遇到过一些物质分离提纯的实例吗？请举例谈谈具体的过程和方法。

混合物分离提纯的依据是混合物中各组分性质（如状态、沸点、水溶性等）的差异。在分离提纯的过程中，应尽量减少所需物质的损失。常见的混合物分离的方法有过滤、结晶、蒸馏、分液、萃取等。

若两种物质组成的固体混合物中，一种组分可溶于水，另一种组分难溶于水，可以先加适量的水溶解混合物，然后过滤分离出难溶于水的组分，再将滤液结晶得到可溶于水的组分，从而实现可溶性组分与难溶性组分的分离。

若固体混合物中的两种组分都可溶于水，且溶解度随温度变化有较大差异，可根据两种组分的溶解度随温度变化的曲线，通过控制温度，利用溶解、结晶等方法分离。



交流讨论

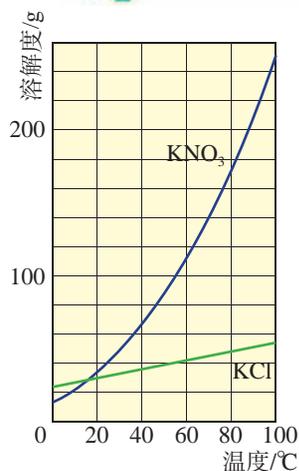


图 2-2 KNO₃和KCl的溶解度曲线

1. 实验室用KClO₃在MnO₂催化下受热分解制取氧气。现从反应后剩余的KCl和MnO₂的混合物中分离、回收这两种物质，需要使用哪些分离方法？请简述实验方案。

2. 请参照图2-2的溶解度曲线，设计实验方案提纯混有少量KCl的KNO₃。

为分离KCl和MnO₂的混合物，可先加入适量水，并充分搅拌，可溶的KCl完全溶解，难溶的MnO₂仍以固体形式存在。过滤、洗涤、干燥滤渣，即可得到MnO₂。将滤液蒸发结晶，可得到KCl晶体。

在提纯混有少量KCl的KNO₃时，先在较高温度下将混合物溶于水形成浓溶液，再冷却到一定温度。KNO₃的溶解度随温度降低急剧下降，因此有大量的KNO₃晶体析出，而KCl的溶解度随温度降低变化不大，难以析出晶体。再过滤、洗涤、干燥，即可得到纯度较高的KNO₃晶体。



观察思考

某些地区的自来水中含有少量可溶性杂质，实验室可通过蒸馏自来水的方法获得少量纯净的水（蒸馏水）。在蒸馏烧瓶中加入几粒沸石（或碎瓷片），再加入少量自来水，按图2-3所示组装实验仪器，加热烧瓶，观察实验现象。

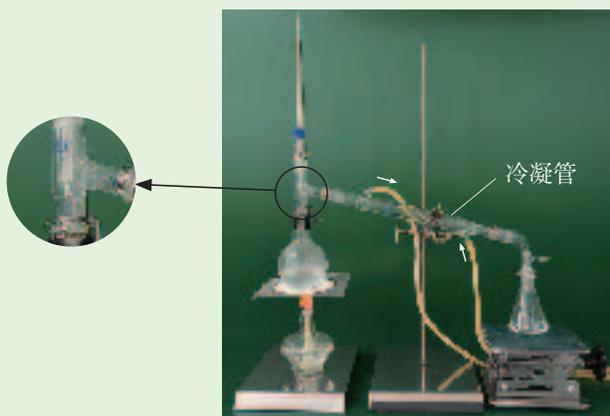


图 2-3 蒸馏

蒸馏是一种分离液体混合物的常用方法。如将含有少量难挥发性杂质的水加热至沸点时，液态水转化为水蒸气，再将其冷凝收集至另一容器中，便可得到蒸馏水。像这种将液态物质加热至沸点，使之汽化，然后将蒸气重新冷凝为液体的操作过程称为**蒸馏**（distillation）。运用蒸馏的方法，可以分离沸点相差较大的液体混合物，也可以除去水等液体中难挥发或不挥发的杂质。蒸馏广泛应用于石油炼制等工业生产中。

如果两种液体互不相溶，它们的混合物静置后会出现分层现象，例如植物油和水的混合体系中，植物油的密度比水小而浮在上层，水在下层，那么可以通过**分液**（separate）的方法分离这两种液体。分液时要用到分液漏斗。当漏斗中的液体分成清晰的两层后，取下分液漏斗顶部的塞子，打开旋塞，使下层液体从漏斗下端流出，然后关闭旋塞，将上层液体从上部倒出。

观察思考

已知四氯化碳（ CCl_4 ）是一种难溶于水的无色油状液体，密度比水大。溴、碘等在四氯化碳中的溶解度远大于在水中的溶解度。

取一只分液漏斗，向其中加入5 mL四氯化碳，再加入约15 mL溴水，塞上分液漏斗顶部的塞子，倒转过来充分振荡，然后置于铁架台上静置。

仔细观察静置过程中分液漏斗中的现象并作出解释。

上述实验中，分液漏斗中的液体在静置时，慢慢分为两层。上层是水层，颜色比原来溴水的颜色浅了许多，下层的四氯化碳变成了橙红色（图2-4），说明溴水中的溴大部分由水层转移到四氯化碳层中，使溴得以富集。通过分液操作分离出溴的四氯化碳溶液，再从中分离出较纯的溴。



图 2-4 萃取与分液

这种利用物质在互不相溶的溶剂中溶解度的不同，将物质从一种溶剂转移到另一种溶剂（也称萃取剂）中，从而实现分离的方法称为**萃取**（extraction）。萃取在中药成分提取中有广泛的应用，常用乙醇、石油醚等作溶剂提取药材的有效成分。

科学史话

屠呦呦提取青蒿素的研究

疟疾是一种严重危害人类生命健康的流行病。20世纪60年代初，全球疟疾疫情难以控制。1969年，我国药学家屠呦呦及其团队受命研究抗疟疾药物。经过对200多种中药的380多个提取物进行筛选，屠呦呦最后将焦点锁定在青蒿上。她系统查阅文献，特别关注历代用药经验中提取药物成分的方法。她注意到，用水煎煮的方法提取出的青蒿的有效成分，其药效并不理想，于是改用乙醚萃取，所得提取物对鼠疟的疗效显著提高。在经历了190多次失败后，青蒿素分离获得成功。这剂新药对鼠疟、猴疟原虫的抑制率达到100%。2015年10月，屠呦呦因采用化学方法提取青蒿素而荣获诺贝尔生理学或医学奖。



图 2-5 屠呦呦提取青蒿素



学科提炼

物质分离提纯的思想方法

混合物的各个组分往往有不同的物理性质和化学性质。可依据混合物中各组分性质的差异，选择适当的方法加以分离。溶解、过滤、结晶、萃取、分液、蒸馏等就是利用各组分的物理性质的差异进行的分离。利用不纯物质中主要成分和所含杂质在性质上的差异，也可以选择适当的方法，将杂质除去或分离出来，以达到提纯的目的。

物质的检验

在生产、生活和科学研究中，人们经常需要测定物质的组成和结构，确定它是哪种物质，即进行物质的检验。通常可以根据物质的物理性质，如颜色、气味、水溶性等，进行粗略的判断，再根据物质的某些特征反应进行检验，以区分或鉴别不同的物质。例如，根据碳酸盐与盐酸反应能放出二氧化碳气体，确定某矿石中是否含有碳酸盐；根据纤维燃烧散发的气味，确定该纤维的成分是否含有蛋白质。

在含有离子的溶液体系中，常用化学反应来检验溶液所含的某些离子。根据反应生成的气体的气味及其性质或沉淀的颜色、溶解性等来判断离子的种类。

观察思考

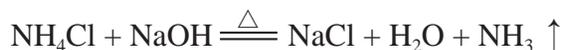
氯化铵、硫酸铵、氯化钾、硫酸钾均可用作化肥。下列实验将帮助我们探究这几种盐中所含离子的检验方法。

【实验1】取两支试管，分别加入2 mL NH_4Cl 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 溶液，再各加入2 mL NaOH 溶液，加热试管，将湿润的红色石蕊试纸（或 pH 试纸）靠近试管口，观察试纸颜色的变化。

【实验2】取两支试管，分别加入2 mL NH_4Cl 、 KCl 溶液，再各滴加几滴 AgNO_3 溶液和稀硝酸，观察实验现象。

【实验3】取两支试管，分别加入少量 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 K_2SO_4 溶液，再各滴加几滴稀盐酸和 BaCl_2 溶液，观察实验现象。

铵盐与强碱溶液混合加热时有刺激性气味的氨气放出，如加热氯化铵和氢氧化钠的混合溶液时发生反应：



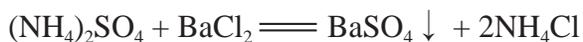
氨气能使湿润的红色石蕊试纸变蓝，人们常利用这一性质来检验铵根离子。

盐酸、氯化钠、氯化铵等溶液中的氯离子能与硝酸银溶液中的银离子反应，生成白色的氯化银沉淀，该沉淀不溶于稀硝酸。例如：



化学上常用这种方法检验溶液中是否含有氯离子。

溶液中的硫酸根离子能与氯化钡溶液中的钡离子反应，生成白色的硫酸钡沉淀，该沉淀不溶于稀盐酸。例如：



人们常用向溶液中加入稀盐酸和氯化钡溶液的方法来检验溶液中是否含有硫酸根离子。

对于某些化合物（如KCl、NaCl等），用简单的复分解反应往往难以鉴别，这时需借助其他实验方法。许多金属或它们的化合物在火焰上灼烧时都会使火焰呈现特殊的颜色（图2-7），这叫作**焰色反应**（flame test）。例如钠的焰色为黄色，钾的焰色为紫色（透过蓝色钴玻璃观察）。根据灼烧时火焰所呈现的特征颜色，可以检验金属或金属离子的存在。



观察思考



取一根铂丝（或细铁丝），放在酒精灯（或煤气灯）火焰上灼烧至无色。用铂丝蘸取少量KCl溶液，置于火焰上灼烧，透过蓝色钴玻璃观察火焰颜色。再用稀盐酸洗净铂丝，并在火焰上灼烧至无色，蘸取少量NaCl溶液，重复以上实验，观察实验现象。

图 2-6 焰色反应的实验操作

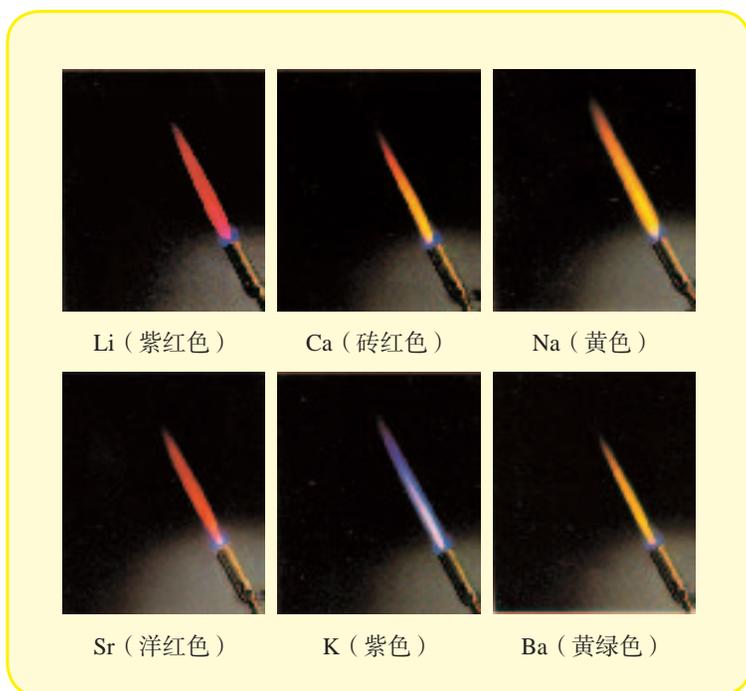


图 2-7 部分金属的焰色反应

此外，科学家还借助仪器来分析化学物质的组成。例如，用元素分析仪确定物质中是否含有C、H、O、N、S、Cl、Br等元素；用红外光谱仪确定物质中是否存在某些有机原子团；用原子吸收光谱仪确定物质中含有哪些金属元素等。这些仪器正是依据组成物质的原子（基团）、离子或分子的一些特征性质对物质进行检验的。

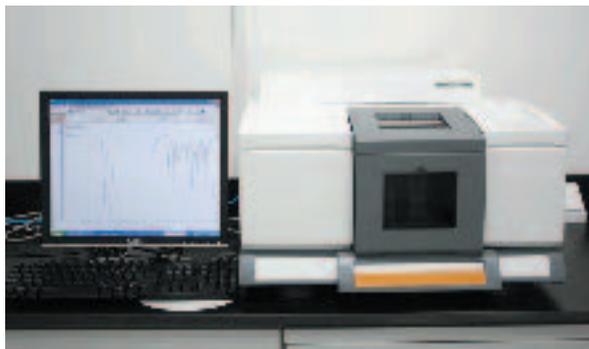


图 2-8 红外光谱仪

物质检验的思想方法

学科提炼



人们常依据某物质参加化学反应时产生的特殊现象及某些物理特征进行物质检验。例如，根据 NH_4^+ 与碱溶液在加热时反应生成有刺激性气味的气体， SO_4^{2-} 与稀盐酸、氯化钡溶液反应生成白色沉淀加以检验。焰色反应、仪器分析等检验手段就是依据物质的物理特征，参照某些标准，灵敏而精准地检测出特定的原子或原子团。

物质性质和变化的探究

温故知新



二氧化碳具有哪些性质？我们是通过什么实验得知二氧化碳的这些性质的？

人们借助感官或仪器可以观察自然界、生产和生活中接触到的物质及其变化现象，但更多的要通过实验，根据特定条件下的实验现象和结果，通过分析、归纳等方法认识物质的性质及其变化的条件和规律。

化学实验是探究物质性质和变化的主要方法。将二氧化碳气体通入水中，向其中滴入几滴紫色石蕊试液，溶液变成红色，说明有酸性物质生成。加热该红色液体，发现有气泡从溶液中逸出，溶液重新变成紫色，这说明生成的酸性物质不稳定。实验清晰地呈现了二氧化碳的性质和变化的过程。

铝是生活中常见的金属。铝有哪些物理性质和化学性质呢？可通过下列实验来进行研究。



观察思考

1. 观察比较铝片在打磨前后的光泽。
 2. 用坩埚钳夹持一片未打磨的薄铝片，在酒精灯火焰上加热，当铝片表面呈灰白色时，轻轻晃动铝片，可以感觉到铝片内有熔化的物质被包裹着，但铝片没有熔融下滴。
 3. 取两支试管，分别放入一小片打磨过的铝片，再分别加入3 mL 20%的盐酸和氢氧化钠溶液，观察发生的现象。
- 请将你观察到的实验现象填入下表。

表 2-1 铝的性质实验

实验序号	主要现象
1	
2	
3	

为了研究某个化学问题，我们往往先根据已有知识、经验，对问题作出某种可能的解释，再设计化学实验进行验证。

例如，为了解铁、铜、银的金属活动性差异，在常温下利用金属铁、铜、银分别与相同浓度的硫酸亚铁溶液、硫酸铜溶液、硝酸银溶液反应，观察实验现象，依据所发生的置换反应分析得出铁、铜、银的金属活动性差异。



实验探究

用双氧水制备氧气的实验中，我们知道双氧水分解的速率与反应是否使用催化剂有关，添加少量二氧化锰粉末能加快它的分解。为了解温度能否影响双氧水的分解快慢，我们可以通过实验探究得出结论。

表 2-2 双氧水的分解实验

实验步骤	实验现象	结论
1. 取浓度约为15%的双氧水2~3 mL盛放于试管中，观察溶液中气泡产生的快慢		
2. 把实验1所用的双氧水置于75 °C热水浴中，观察溶液中气泡产生的快慢		

我们还可以在相同温度的条件下，对比不同浓度的过氧化氢溶液(如3%、6%的 H_2O_2 溶液)，在少量二氧化锰粉末催化下放出气体的快慢，了解浓度对过氧化氢溶液分解快慢的影响。

为深入探究某个化学问题，化学研究人员往往会依据一定的化学原理作出假设，并设计一定的化学实验方案，控制某些因素，选择适宜的条件、试剂和仪器，用待研究物质的

样品和反应试剂进行实验，观察、记录化学反应的现象、数据，整理分析有关资料，基于实验证据作出推理判断，获得结论，以检验所作的假设或解释是否合理。通过实验探究可以进一步认识物质的性质和变化，揭示物质变化的本质和规律。

理解应用

1. 分离下列固体混合物时，可按溶解、过滤、蒸发的顺序进行的是（ ）

- A. 氯化钠和硝酸钾
B. 铁粉和锌粉
C. 氯化钾和二氧化锰
D. 碳酸铵和氯化铵

2. 现有一瓶物质A和B的混合液体，它们的性质如下表所示。分离物质A和B的最佳方法是（ ）

物质	熔点/℃	沸点/℃	密度/(g·cm ⁻³)	溶解性
A	-11.5	198	1.11	易溶于水和乙醇
B	17.9	290	1.26	能与水、乙醇以任意比例互溶

- A. 萃取
B. 结晶
C. 分液
D. 蒸馏

3. 用括号里的试剂鉴别下面各组气体或溶液，其中不合理的是（ ）

- A. 二氧化碳、氮气、一氧化碳（澄清石灰水）
B. 氯化钠、硝酸银、碳酸钠（稀盐酸）
C. 酒精、醋酸、氨水（石蕊试液）
D. 硫酸、硝酸钡、氯化钾（碳酸钠溶液）

4. 现需要分离下列物质，请用直线将分离实例、分离所依据的物质性质差异和分离方法连起来。

实例	物质性质差异	分离方法
除去氯化钠溶液中的泥沙	溶解度随温度变化的差异	蒸馏
用乙醚提取青蒿中的青蒿素	在不同溶剂中溶解度的差异	过滤
分离乙酸（沸点为118℃）与乙醚（沸点为34℃）	沸点的差异	分液
分离汽油和水的混合物	互不相溶	萃取
从含有少量氯化钠的硝酸钾溶液中提取硝酸钾	在水中溶解性的差异	结晶

5. 请设计实验方案将下面各组中的两种物质区分开来。

- ① 丝绸与棉布 ② 氯化钠与氯化钾 ③ 硫酸铵与氯化铵 ④ 碳酸钠与硝酸钠

6. 草木灰是草本和木本植物燃烧后的残余物，含有碳酸钾，可用作肥料。现有一份草木灰样品，请设计实验方案检验其中含有碳酸钾。

第二单元 溶液组成的定量研究

化学家和化学工程师在制备物质的过程中，需要计算投入原料的配比和产物的产率，这就需要对物质组成进行定量研究。定量研究是化学研究的常用方法，也是化学学习的重要内容。掌握物质及其反应的计量方法，是学习化学定量计算的关键。

我们已经知道，化学反应中反应物之间物质的量的比是一定的。当反应在溶液中进行时，要确定反应物的物质的量，就必须知道溶液的组成。例如，酸和碱恰好完全中和时，酸溶液提供的 H^+ 和碱溶液提供的 OH^- 的物质的量之比是1:1。在实验室中，我们需要知道一定体积的酸、碱溶液中所含的酸和碱的物质的量，才能了解反应能否恰好完全进行。



目标预览

通过本单元内容的学习，要求同学们努力达到：

认识物质的量在化学定量研究中的重要作用，能从定量角度描述和分析物质及其变化，能运用化学计量关系和物质的量概念研究溶液的组成。

物质的量浓度



温故知新

请描述你所知道的溶液浓度的含义。它是如何具体表示的？

科学研究和化工生产中，人们经常在溶液中进行制备、检验和分析等，这时往往需要知道一定质量溶液中所含溶质的质量，即初中已学的溶质的质量分数。此外，还常用一定体积溶液中所含溶质的物质的量来表示溶液的组成，即溶质的物质的量浓度。

溶质（用字母B表示）的**物质的量浓度**（molarity）是指单位体积溶液中所含溶质B的物质的量，用符号 c_B 表示，常用单位为 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

溶质的物质的量浓度（ c_B ）、溶质的物质的量（ n_B ）、溶液的体积（ V ）之间存在如下关系：

$$c_B = \frac{n_B}{V}$$

【例1】将53.0 g Na_2CO_3 溶解在水中，配成500 mL溶液，所得溶液中溶质的物质的量浓度是多少？

$$\text{解：} \quad n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{M(\text{Na}_2\text{CO}_3)} = \frac{53.0 \text{ g}}{106 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.500 \text{ mol}$$

$$c(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{n(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{V} = \frac{0.500 \text{ mol}}{0.500 \text{ L}} = 1.00 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

答：所得溶液中溶质的物质的量浓度是 $1.00 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

学以致用

现要配制250 mL $0.200 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 溶液，需要 NaCl 多少克？

配制一定物质的量浓度的溶液时，需要准确控制溶液的最终体积。实验室使用容量瓶来配制一定体积、一定物质的量浓度的溶液。

容量瓶由瓶体和瓶塞两部分组成（图2-9）。容量瓶上标有容量瓶的规格（常见规格有50 mL、100 mL、250 mL、500 mL等）、温度（一般标记的温度为 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ），容量瓶瓶颈上有一刻度线以标示体积。在容量瓶所标记的温度下，当溶液的凹液面正好与刻度线相切时，容量瓶中溶液的体积正好等于容量瓶的规格。

为避免容量瓶受热变形而引起容积的变化，热的溶液需冷却到室温后才能转移到容量瓶中，也不能将容量瓶用作物质反应或溶解的容器。



图 2-9 500 mL容量瓶

学生必做 实验

配制一定物质的量浓度的溶液

根据下列实验步骤配制100 mL $0.100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Na_2CO_3 溶液。

(1) 计算：配制100 mL $0.100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Na_2CO_3 溶液所需碳酸钠固体的质量为_____ g。

(2) 称量：用天平准确称取碳酸钠固体。（注：为保证实验精度，在称量固体时，应使用分析天平或电子天平称量 Na_2CO_3 固体。若条件限制，可用托盘天平代替进行练习）

(3) 溶解：将碳酸钠固体转移至100 mL烧杯中，用适量的蒸馏水溶解，冷却到室温。

基础实验

(4) 转移：将烧杯中的溶液用玻璃棒小心地引流到100 mL容量瓶中（注意：不要让溶液洒到容量瓶外），用蒸馏水洗涤烧杯内壁及玻璃棒2~3次，并将每次洗涤的溶液都注入容量瓶中。轻轻振荡容量瓶，使溶液混合均匀。

(5) 定容：缓缓地将蒸馏水注入容量瓶中，直到容量瓶中的液面距离容量瓶的刻度线1~2 cm时，改用胶头滴管滴加蒸馏水至溶液的凹液面正好与刻度线相切，再将容量瓶塞盖好，反复上下颠倒，摇匀。



图 2-10 配制一定物质的量浓度的溶液

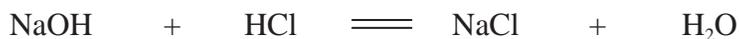
化学计算的计算

在化学实验中，我们常常会面对未知浓度的溶液。为简便地确定其物质的量浓度，可以借助某个特定化学反应中消耗的溶质的物质的量来进行计算。具体思路是：将已知物质的量浓度的溶液与一定体积未知物质的量浓度的溶液反应，根据反应时消耗已知物质的量浓度溶液的体积，通过计算就能确定未知浓度溶液的物质的量浓度。上述原理是定量分析溶液组成的重要基础。

【例2】实验室为确定一瓶稀盐酸的浓度，用 $0.100 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaOH溶液中和25.00 mL该盐酸，当酸与碱恰好完全反应时，消耗NaOH溶液24.50 mL。试求该盐酸的物质的量浓度。

解 24.50 mL NaOH溶液中所含NaOH的物质的量为：

$$n(\text{NaOH}) = 2.450 \times 10^{-2} \text{ L} \times 0.100 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} = 2.45 \times 10^{-3} \text{ mol}$$



化学计量数

1

1

物质的量

$$2.45 \times 10^{-3} \text{ mol} \quad n(\text{HCl})$$

$$n(\text{HCl}) = \frac{2.45 \times 10^{-3} \text{ mol} \times 1}{1} = 2.45 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

该盐酸的物质的量浓度为：

$$c(\text{HCl}) = \frac{2.45 \times 10^{-3} \text{ mol}}{25.00 \times 10^{-3} \text{ L}} = 0.098 0 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

答：该盐酸的物质的量浓度为 $0.098 0 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

学科提炼



化学反应中的计量关系

化学反应中参加反应的各物质的物质的量之比等于化学方程式中对应物质的化学计量数之比，因此可以根据该比例来代入已知物质的物理量，从而求出未知物质的物理量。这里的物理量是指微粒数 N 、质量 m 、标准状况下气体体积 V 和物质的量浓度 c_B ，这些物理量都可以根据相应的公式转化为该物质的物质的量。

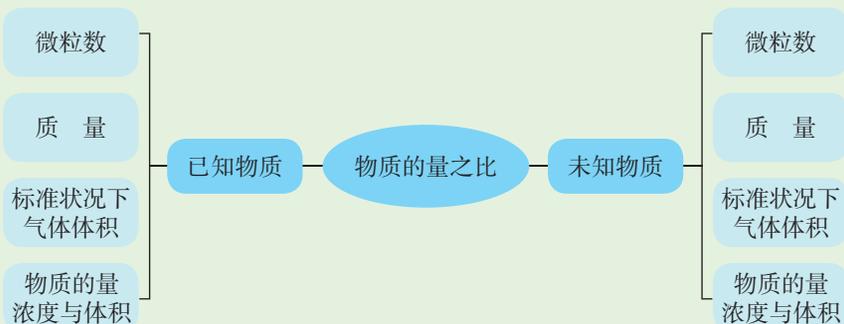
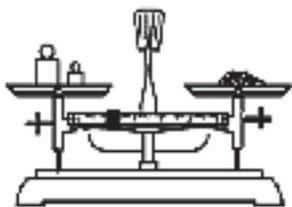


图 2-11 化学反应中的计量关系

理解应用

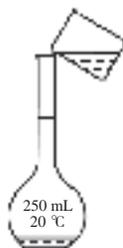
- 下列关于 $0.10 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{Ba}(\text{OH})_2$ 溶液的描述中, 正确的是 ()
 - 1 L该溶液中含有 0.10 mol Ba^{2+}
 - 该溶液中 $c(\text{OH}^-) = 0.10 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$
 - 1 L该溶液中含有 Ba^{2+} 的质量为 1.71 g
 - 该溶液就是将 $17.1 \text{ g Ba}(\text{OH})_2$ 溶于1 L水中所得到的溶液
- 用胆矾 ($\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 配制 $480 \text{ mL } 0.100 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{CuSO}_4$ 溶液, 下列做法中正确的是 ()
 - 可选用 500 mL 容量瓶
 - 配制该溶液需称取 8.0 g 胆矾
 - 转移溶液前须将容量瓶烘干
 - 定容后摇匀, 发现液面低于刻度线, 又补加少量水, 重新达到刻度线
- 用固体样品配制一定物质的量浓度的溶液, 需经过称量、溶解、转移溶液、定容等操作。下列图示对应的操作中, 正确的是 ()



A. 称量



B. 溶解



C. 转移



D. 定容

- 配制一定体积、一定物质的量浓度的溶液时, 若出现下列情况, 会导致溶液中溶质的物质的量浓度偏小的是 ()
 - 容量瓶中原有少量的水
 - 溶液从烧杯转移到容量瓶中后没有洗涤烧杯
 - 定容时俯视刻度线
 - 用滴管加水定容时, 不小心把少量水滴到容量瓶外
- 下列操作中, 对实验结果没有影响的是 ()
 - 在烧杯中稀释浓硫酸后, 立即转移到容量瓶中
 - 在转移溶液的过程中, 不慎有少量液体洒在容量瓶外, 忽略不计继续进行操作
 - 向容量瓶中加入蒸馏水至刻度线以下 $1 \sim 2 \text{ cm}$ 时, 改用胶头滴管加水至凹液面最低处恰好与刻度线相切
 - 用胶头滴管加水后, 发现凹液面超过了刻度线, 随即用滴管将多余的溶液吸出

6. 某同学按下列步骤配制500 mL $0.200 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ KCl溶液，请回答有关问题。

实验步骤	有关问题
① 计算所需KCl的质量	需要KCl的质量是_____ g
② 称量KCl固体	称量过程中主要用到的仪器是_____
③ 将KCl转移至100 mL烧杯中，并加入适量水溶解	为了加快溶解，可以采取的措施有_____
④ 将烧杯中的溶液转移至500 mL容量瓶中	为了防止溶液洒出，应采取的措施是_____
⑤ 向容量瓶中加蒸馏水至刻度线	在进行此操作时应注意_____

按上述步骤配制的溶液中KCl的物质的量浓度是否为 $0.200 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ？请说明理由。

7. 实验室用高速离心机分离细胞各组分时需要使用蔗糖 ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) 溶液。所需的蔗糖溶液物质的量浓度为 $3.200 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。含有137.0 g蔗糖的该溶液的体积为多少升？

8. 为测定某 K_2SO_4 溶液的浓度，取25.00 mL待测液，向其中加入过量 BaCl_2 溶液，充分反应后过滤、洗涤并干燥，得到的 BaSO_4 沉淀的质量是1.165 g。该溶液中 K_2SO_4 的物质的量浓度是多少？

9. 实验室有一瓶放置已久的盐酸，标签中没有说明其物质的量浓度。

(1) A同学发现标签中标有该盐酸的密度 $1.17 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 、溶质质量分数 34.2%。能否根据这些信息计算出该盐酸的物质的量浓度？

(2) B同学认为该盐酸已经放置很久了，其中氯化氢或许已经挥发了一部分。他打算通过定量实验来测出该盐酸的物质的量浓度，请你帮助他设计一个简单的实验方案。

第三单元 人类对原子结构的认识

人类探索自然界奥秘的一个重要方面是研究物质的微观结构。古希腊哲学家德谟克利特（Democritus，约公元前460—公元前370）曾经指出，物质是由不可分割的微粒（也称为“原子”）构成的。后来，科学家对物质结构的进一步研究证实，原子由质子、中子、电子等微粒构成。基于对原子及其结构的认识，人们可以更好地探索物质的组成、结构、性质及应用，可以根据需要制备各种具有不同性能的物质。



目标预览

通过本单元内容的学习，要求同学们努力达到：

以原子结构模型为例，能从宏观和微观结合的视角理解原子结构模型提出的证据，初步形成模型建构的认知方式。

人类认识原子结构的历程

早在战国时期，我国古代先贤就有了关于物质的微观思考。惠施说过：“一尺之棰，日取其半，万世不竭。”他认为物质是无限可分的。物质是否能够无限地分割下去？物质又是由什么组成的呢？

19世纪初，英国科学家道尔顿（J. Dalton，1766—1844）总结了一些元素形成化合物时的质量比例关系，提出了原子学说。他认为物质由原子组成，原子不能被创造，也不能被毁灭，它们在化学变化中不可再分割。



图 2-12 道尔顿和他的原子结构模型

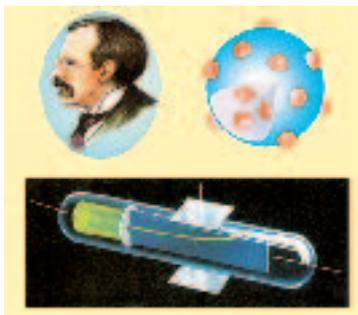


图 2-13 汤姆生发现电子，提出原子结构模型

随着自然科学的发展，人类对原子结构的认识经历了一段曲折的历程，科学家们依据实验获得的数据，提出了各种假说和模型，逐步揭示了原子结构的奥秘。

1897年，英国物理学家汤姆生（J.J. Thomson，1856—1940）发现原子中存在电子，并用实验方法测出电子的质量不及氢原子质量的千分之一（后进一步确定为氢原子质量的

1/1836)。他推测这种粒子是均匀地嵌在云状的正电荷球体中，于是提出了“葡萄干面包式”的原子结构模型，并将这种粒子命名为电子。电子的发现使人们认识到原子是由更小的微粒构成的，对原子结构的认识进入新的阶段。

1911年，英国物理学家卢瑟福（E. Rutherford, 1871—1937）用 α 粒子轰击金箔，发现大部分 α 粒子直线穿过金箔，有少数发生一定的偏移，极少数反弹回来。他推测原子的内部结构并不是均匀的，而是存在一个中心的“核”，称为原子核。原子核带正电，电子在其周围高速运动，就像行星围绕太阳运转一样。这就是卢瑟福的“有核模型”或“行星模型”。



图 2-14 卢瑟福根据 α 粒子散射现象，提出带核的原子结构模型

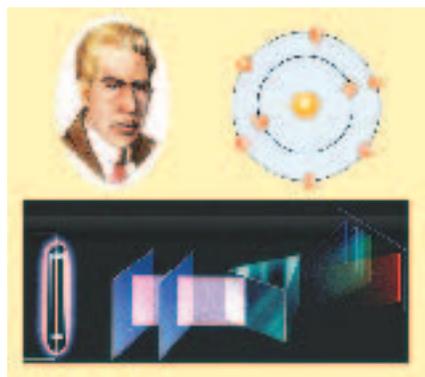


图 2-15 玻尔研究氢原子光谱，提出他的原子结构模型

1913年，丹麦物理学家玻尔（N. Bohr, 1885—1962）在研究氢原子光谱时，发现氢原子光谱是不连续的，而且谱线能量的差异存在一定的规律。他引入了量子论观点，大胆地提出了新的原子结构模型：原子核外，电子在一系列稳定的轨道上运动，每个轨道都具有一个确定的能量值；核外电子在这些稳定的轨道上运动时，既不放出能量，也不吸收能量。

模型建构

学科提炼



模型本质上是科学家描述事物的原型，解释和预测未知现象的一种思维方式，广泛应用于科学发现和发明的过程中。从原子结构模型的发展历程可以看出，科学家通过不同的实验收集各种证据，从而提出原子结构模型，并不断修正模型。科学家在一定时期建构的模型不是绝对的、一成不变的，而是依据知识的积累、方法和技术的更新、实验证据的不断完善而动态发展的。

从上述科学发展的历程可知，直到20世纪初科学家才揭开了原子结构的神秘面纱，对微观世界的认识也逐步清晰和深化。原子结构理论在20世纪末和21世纪初又有了新的飞速发展。

原子核的构成



温故知新

相对原子质量被定义为“某原子的质量与 ^{12}C 原子质量的 $1/12$ 之比”，你知道 ^{12}C 原子是指哪种碳原子吗？

原子是由原子核（nucleus）和核外电子（electron）构成的，原子的质量几乎都集中在原子核上。绝大多数原子核由带正电荷的质子（proton）和不带电荷的中子（neutron）构成。一个原子的核内质子数和核外电子数相等，所以原子是电中性的。

表 2-3 质子、中子和电子的质量和带电荷量

微粒	质量/kg	带电荷量/C
质子	1.673×10^{-27}	1.602×10^{-19}
中子	1.675×10^{-27}	0
电子	9.109×10^{-31}	-1.602×10^{-19}

同一种元素的原子具有相同的质子数，但中子数不一定相同。如氢元素在自然界中存在氕（protium, ^1H ）、氘（deuterium, ^2H ）、氚（tritium, ^3H ）三种原子（图2-16），它们的原子核内部都含有1个质子，中子数分别为0、1、2。其中氘称为重氢（D），氚称为超重氢（T），它们是制造氢弹的原料。又如，碳元素在自然界中存在三种原子，它们的质子数都是6，中子数分别为6、7、8，可分别表示为 $^{12}_6\text{C}$ 、 $^{13}_6\text{C}$ 、 $^{14}_6\text{C}$ ， ^{12}C 原子就是指质子数和中子数都是6的碳原子。人们把具有一定质子数和一定中子数的一种原子称为一种核素（nuclide）。将原子核内所有的质子和中子的相对质量取整数，加起来所得到的数值称为质量数（用符号A表示），常用质子数（Z）与中子数（N）之和表示。

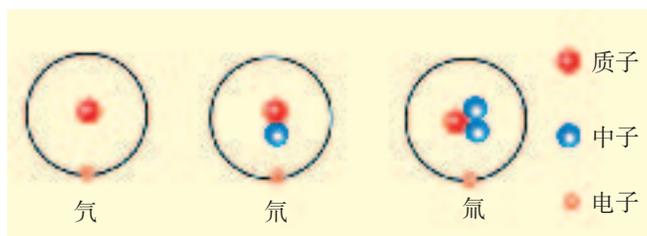


图 2-16 氢元素三种核素的原子结构模型



学以致用

1. 将下列有关原子的质子数和中子数之和填入下表，与原子的相对原子质量作比较，你能得出什么结论？并用 ^A_ZX 表示各原子。

表 2-4 几种原子的质子数、中子数和相对原子质量

原子	质子数 (Z)	中子数 (N)	质子数+中子数 (A)	相对原子 质量	${}^A_Z\text{X}$
F	9	10		18.998	
Na	11	12		22.990	
Al	13	14		26.982	

2. 请总结出原子的质子数、中子数、电子数和质量数之间的关系。

通常以“ ${}^A_Z\text{X}$ ”的形式来表示某种核素（A代表质量数，Z代表质子数，X为元素符号）。例如，经常提到的含6个质子和6个中子的碳原子即可写成 ${}^{12}_6\text{C}$ 。绝大多数元素存在多种核素，我们把质子数相同、质量数（或中子数）不同的核素互称为**同位素**（isotope）。

拓展视野

夸克

原子由质子、中子、电子等基本粒子构成。那么，基本粒子可不可以再分呢？1964年，美国科学家盖尔曼（M. Gellman）提出质子、中子由更小的夸克构成，建构了夸克模型。该模型能解释许多事实，引起了人们的普遍关注。1967年，以弗里德曼（J. Friedman）、肯达尔（H. Kendall）、泰勒（R. Taylor）为核心的研究小组，在美国斯坦福大学直线加速器中心进行实验，证明了夸克的存在。这三位科学家因此获得了1990年诺贝尔物理学奖。

但迄今为止，人们尚未能分离出单个的夸克。美国科学家戴维·格罗斯（D.J. Gross）、戴维·波利策（H.D. Politzer）和弗兰克·维尔切克（F. Wilczek）发现当夸克相距很近时相互作用力很小，但当距离增大时相互作用力急剧增大。这解释了人们在寻找单个夸克时遭遇的困境。这三位科学家因此获得了2004年诺贝尔物理学奖。

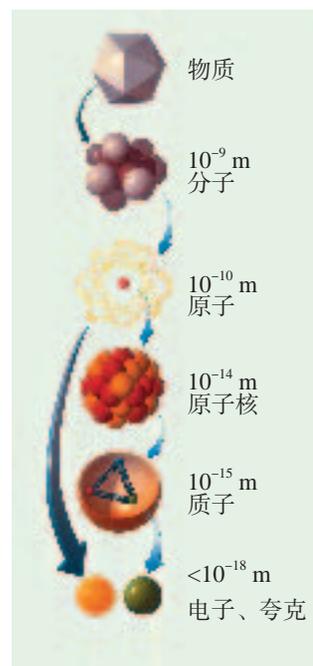


图 2-17 构成物质的微粒示意图

研究表明，质量较大的核素往往容易发生衰变，变成质量较小的核素，同时放射出某种射线或粒子流。卢瑟福轰击金箔实验所用的 α 粒子，就是放射性同位素衰变时放射出的

氢原子核。同位素的应用已遍及医学、工业、农业、考古和环境等众多领域。同位素在医学上的应用尤为活跃，主要用于诊断、治疗（图2-18）、医疗用品消毒，以及药物作用机理研究等。需要指出的是，某些同位素的放射性会对环境以及人体健康产生一定危害，我们应科学、合理地使用放射性同位素。



图 2-18 利用同位素的放射性进行医疗诊断



图 2-19 生物化石

拓展视野

同位素在考古中的应用

考古学家们挖掘出生物化石（图2-19），如何较准确地测定其年代呢？同位素在考古断代上功不可没。生物化石中含有 ^{14}C 。在生物死亡前，由于生命活动伴随体内含碳元素物质与自然界中碳元素的交换，生物体中 ^{14}C 所占碳原子的比例和大气中 ^{14}C 所占碳原子的比例相同。大气中 ^{14}C 所占碳原子的比例是恒定的。但当生物体死亡后，其体内的 ^{14}C 和大气中的 ^{14}C 停止交换，生物体内的 ^{14}C 所占碳原子比例因衰变而减少，每5 730年 ^{14}C 就减少一半。因此，测定出土文物或化石中 ^{14}C 所占碳原子比例，与大气中的恒定值进行比较，就可以测算出其死亡的年代。

原子核外电子排布

经过长期研究，人们发现，含多个核外电子的原子中，电子运动的主要区域离核有远有近，在离核较近的区域运动的电子能量较低，在离核较远的区域运动的电子能量较高，可以认为电子在原子核外是分层排布的。人们把核外电子运动的不同区域看成不同的电子层，各电子层由内向外的序数 n 依次为1、2、3、4、5、6、7……分别称为K、L、M、N、O、P、Q……电子层。

原子核外各电子层最多能容纳的电子数是一定的，而且电子在原子核外排布时，总是尽量先排在能量最低的电子层，即最先排K层，当K层排满后，再排L层等。原子核外各电子层最多能容纳的电子数为 $2n^2$ ，最外电子层最多只能容纳8个电子（K层为最外层时，最多只能容纳2个电子）。稀有气体元素原子中最外电子层都已经填满，形成了稳定的电子层结构。例如，钠原子核外的11个电子分别处于K、L、M电子层中，排布在最外电子层（M层）的1个电子能量最高。

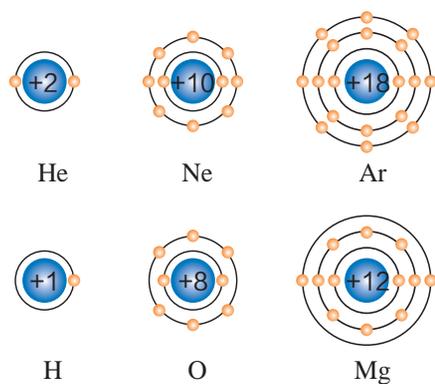


图 2-20 几种原子的核外电子排布

人们常用原子结构示意图表示原子的核外电子排布。例如，氧原子、镁原子的结构示意图分别如图2-21、图2-22所示。

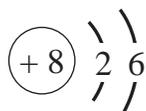


图 2-21 氧原子的结构示意图

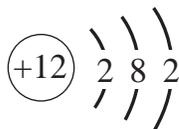


图 2-22 镁原子的结构示意图

原子结构示意图中，圆圈表示原子核并标明核电荷数，圆圈外的每一段弧线代表不同的电子层，数字代表该电子层中的电子数。例如，钠原子的结构示意图如图2-23所示。

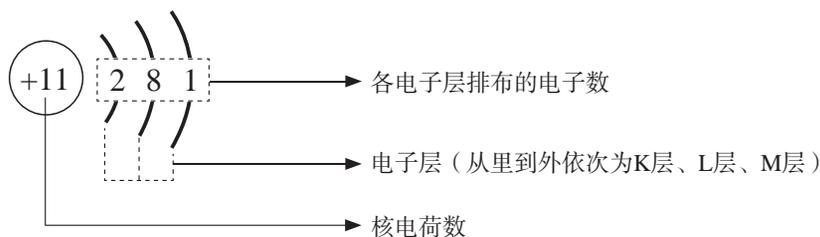


图 2-23 钠原子的结构示意图

观察下表，回答问题。

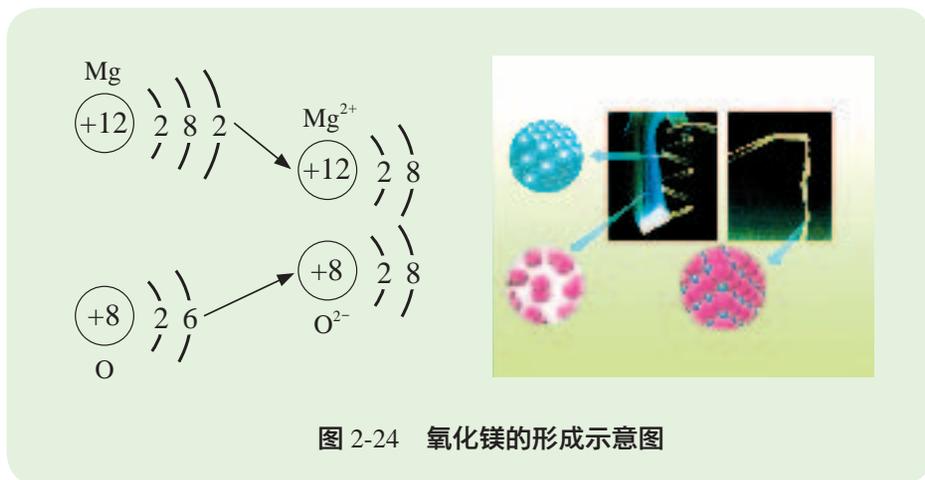
学以致用

表 2-5 稀有气体元素的原子核外电子排布

元素	各电子层的电子数					
	K	L	M	N	O	P
${}^2\text{He}$	2					
${}^{10}\text{Ne}$	2	8				
${}^{18}\text{Ar}$	2	8	8			
${}^{36}\text{Kr}$	2	8	18	8		
${}^{54}\text{Xe}$	2	8	18	18	8	
${}^{86}\text{Rn}$	2	8	18	32	18	8

1. 请画出稀有气体元素氦、氖、氙的原子结构示意图。

2. 镁原子和氧原子形成氧化镁的过程中原子核外电子的变化情况如图2-24，将 Mg^{2+} 、 O^{2-} 的核外电子排布与氖原子的核外电子排布进行比较，你能得出什么结论？



钠、镁、铝等活泼金属原子的最外层电子数较少，与活泼非金属反应时容易失去电子，形成稳定的电子层结构；氧、氟、氯等活泼非金属原子的最外层电子数较多，与活泼金属反应时容易得到电子，形成稳定的电子层结构。



交流讨论

下列金属单质与非金属单质反应所形成的化合物中，金属元素和非金属元素的化合价与其在反应中失去或得到电子的数目之间存在一定的关系。

1. Na、Mg分别与 O_2 、 Cl_2 反应生成氧化物和氯化物，请写出这些氧化物和氯化物的化学式。

2. 请根据Na、Mg、O、Cl原子的最外层电子数及在反应过程中失去或得到的电子数，推断生成的氧化物和氯化物中元素的化合价，将结果填入下表。

表 2-6 一些元素的原子得、失电子的情况

元素	原子最外层电子数	失去或得到的电子数	化合物中的化合价
Na			
Mg			
O			
Cl			

在活泼金属单质与活泼非金属单质的反应中，金属元素的原子失去电子，形成阳离子，在生成的化合物中呈现正化合价；非金属元素的原子得到电子，形成阴离子，在生成的化合物中呈现负化合价。

理解应用

- 下列关于原子的说法中，正确的是（ ）
 - 同种元素的原子内质子数相等
 - 原子不显电性，说明原子内的质子数等于中子数
 - 含有相同中子数的原子，一定是同一种原子
 - 原子是最小的粒子，不可再分
- 下列关于 ${}^{209}_{83}\text{Bi}$ 和 ${}^{210}_{83}\text{Bi}$ 的说法中，错误的是（ ）
 - ${}^{209}_{83}\text{Bi}$ 和 ${}^{210}_{83}\text{Bi}$ 都含有83个中子
 - ${}^{209}_{83}\text{Bi}$ 和 ${}^{210}_{83}\text{Bi}$ 是Bi的两种核素
 - ${}^{209}_{83}\text{Bi}$ 和 ${}^{210}_{83}\text{Bi}$ 的核外电子数相等
 - ${}^{209}_{83}\text{Bi}$ 和 ${}^{210}_{83}\text{Bi}$ 含有相等的质子数
- 2016年11月国际纯粹与应用化学联合会（IUPAC）公布了人工合成的第113、115、117和118号元素。其中118号元素Og是由美国与俄罗斯科学家合作合成的，其质量数为294。下列关于该元素的说法中，正确的是（ ）
 - 其原子核内中子数和质子数都是118
 - 其原子核内中子数为176
 - 其原子核外电子数为176
 - 其原子最外层电子数为18
- 诺贝尔化学奖获得者艾哈迈德·泽维尔（A. H. Zewail）开创了“飞秒化学”的新领域，使利用激光光谱技术观测化学反应时分子中原子的运动成为可能。你认为该技术还无法观察到的是（ ）
 - 化学反应中反应物分子的分解
 - 化学反应中原子的运动
 - 化学反应中生成物分子的形成
 - 原子核的内部结构
- 填写下表。

原子	质子数 (Z)	中子数 (N)	质量数 (A)	${}^A_Z\text{X}$
C	6	6		
Cl	17		37	
O				${}^{18}_8\text{O}$

- 核内中子数为 N 的 R^{2+} ，质量数为 A ，则该离子的核外电子数为_____。

7. 许多元素有多种核素，而且各种核素在自然界中所占的比例相对固定。如氧元素有 $^{16}_8\text{O}$ 、 $^{17}_8\text{O}$ 、 $^{18}_8\text{O}$ 三种核素，氢元素有 ^1_1H 、 ^2_1H 、 ^3_1H 三种核素。

(1) ^1_1H 、 $^{16}_8\text{O}$ 、 $^{17}_8\text{O}$ 、 $^{18}_8\text{O}$ 最多可以构成几种水分子？

(2) 相对分子质量为 20 的水分子，可能有几种组成？

8. 已知X、Y、Z、W、R五种元素中，X是原子序数最小的元素；Y元素原子最外层电子数是内层电子总数的2倍；Z元素原子最外层电子数比其次外层电子数多4个；W元素原子K层和M层电子总数等于其L层电子数；R元素原子最外层有1个电子，其阳离子与Z的阴离子原子核外电子总数相同。请完成下列问题。

(1) R 元素的原子结构示意图为_____；Z 元素形成的阴离子的结构示意图为_____。

(2) 含 X、Y、Z、R 四种元素的化合物的化学式为_____。

(3) W 的两种氧化物的化学式是_____、_____。

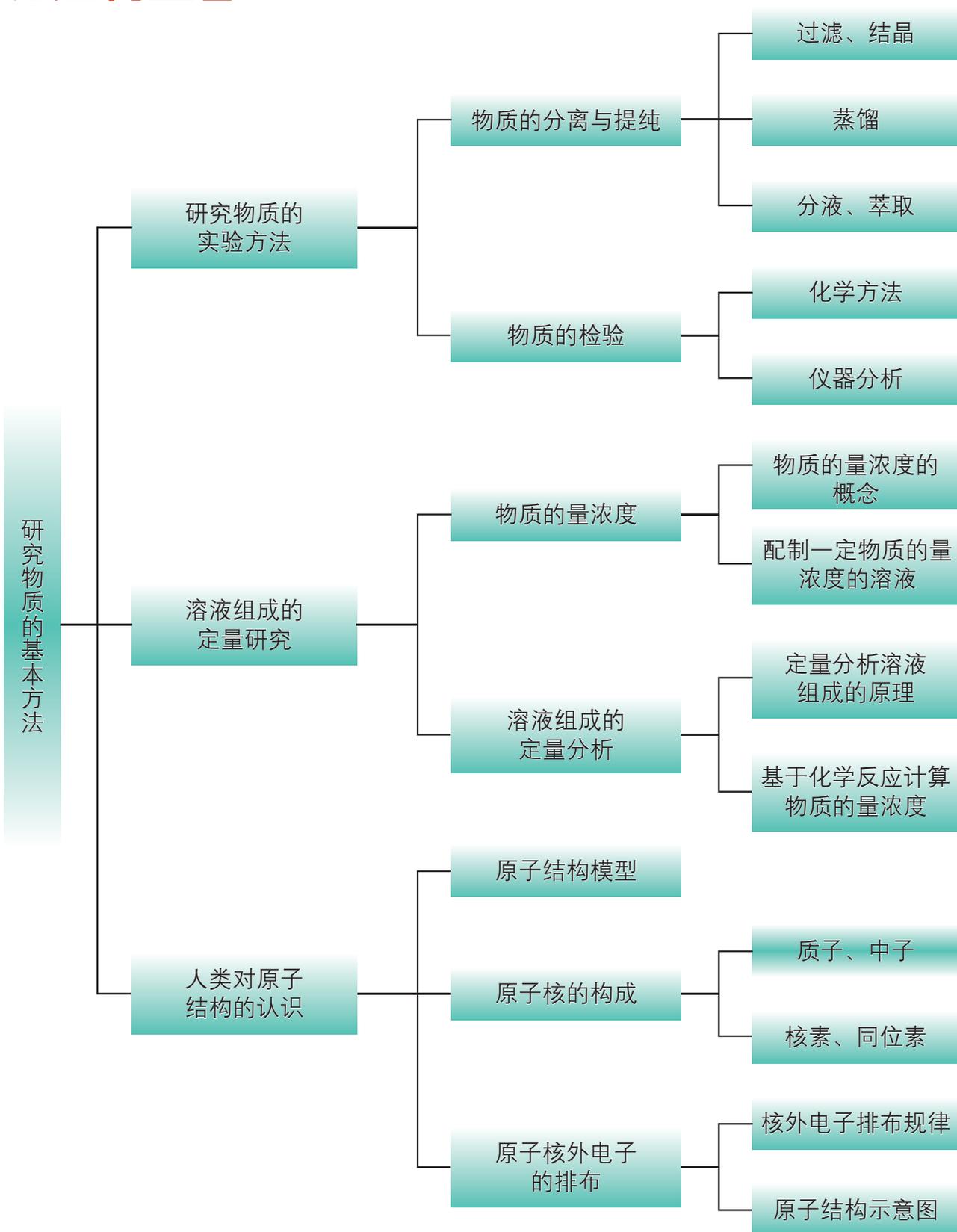
(4) 化合物 R_2Z 与 YZ_2 反应的化学方程式为_____。

9. 1808年，道尔顿编著了《化学哲学的新体系》一书，系统地阐述了他的化学原子论。主要观点如下：①所有物质都是由非常微小的物质粒子即原子构成的；②原子不能被分割；③同种原子具有相同的质量和性质，不同原子的质量和性质不同；④不同的原子结合形成化合物，在化学反应中，原子仅仅是重新排列，而不是被创造或消失。

(1) 当时，道尔顿提出原子论是件很了不起的事。但由于受到当时科学技术水平的限制，该学说中存在着一些缺陷甚至错误。你对此有什么看法？

(2) 道尔顿曾分析过 CO 、 CO_2 的组成，得出当这两种气体中所含的碳元素质量相等时，两种气体中的氧元素质量之比为1：2。道尔顿认为这类实验事实可以用他的原子论来说明。请你尝试用道尔顿的原子论解释这一现象。

建构整合



回顾与总结

请参照下列问题或线索，回顾和总结本专题的学习内容。

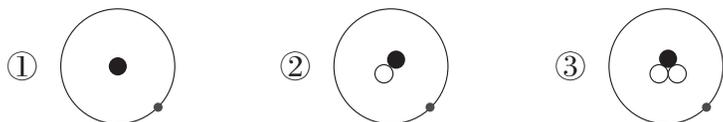
- ✓ 实验室安全注意事项有哪些？在实验前、实验中、实验后分别要注意什么？
- ✓ 回顾物质分离的各种方法，结合实例完成下表。

方法	适用混合物体系	主要实验仪器	实例
过滤	液体和不溶性固体	过滤器	
蒸发结晶			
冷却结晶			
蒸馏			
分液			
萃取			

- ✓ 举例说明过滤、结晶在物质分离提纯中的应用。
- ✓ 蒸馏操作中应注意哪些问题？
- ✓ 查阅资料，说明“蒸馏广泛应用于石油炼制工业中”。
- ✓ 萃取的原理是什么？萃取剂的选择有什么要求？
- ✓ 物质检验的原理是什么？常见的检验方法有哪些？
- ✓ 如何通过实验方法检验氯离子、硫酸根离子、碳酸根离子、铵根离子？
- ✓ 钾离子、钠离子常用的检验方法是什么？
- ✓ 举例说明控制实验条件在物质性质和反应研究中的作用。
- ✓ 请比较溶质的质量分数和溶质的物质的量浓度两个概念的异同点。
- ✓ 配制一定物质的量浓度的溶液需要用到哪些实验仪器？简要说明实验步骤。
- ✓ 举例说明基于化学反应定量分析溶液组成的基本原理。
- ✓ 归纳各种原子结构模型学说的主要观点。
- ✓ 什么是核素？如何表示某一种核素？
- ✓ 什么是同位素？举例说明放射性同位素的应用。
- ✓ 原子的核外电子排布有何规律？举例说明如何用原子结构示意图描述原子的核外电子排布。

综合评价

1. 用下图形象地表示元素的原子结构：



其中●表示质子，○表示中子，下列有关①②③的叙述中，正确的是（ ）

- A. ①②③互为同位素
 B. ①②③是同种原子
 C. ①②③是三种化学性质不同的粒子
 D. ①②③具有相同的质量数
2. 选用一种试剂，通过一步操作（必要时可加热）即可鉴别 Na_2CO_3 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 NH_4Cl 、 KNO_3 四种溶液，该试剂是（ ）

- A. AgNO_3 溶液
 B. NaOH 溶液
 C. $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 溶液
 D. 盐酸
3. 下列实验方案中，设计正确的是（ ）
- A. 用乙醇萃取碘水中的碘单质
 B. 用焰色反应鉴别 NaCl 和 Na_2SO_4
 C. 用蒸馏的方法分离植物油和水的混合物
 D. 用 NaOH 溶液和红色石蕊试纸检验溶液中是否存在 NH_4^+

4. 碘元素的一种核素 $^{125}_{53}\text{I}$ 可用于治疗肿瘤。该核素的质子数为_____，中子数为_____，质量数为_____，核外电子数为_____。

5. 试用质子数、中子数、电子数、质量数和同位素填空。

- (1) $^{13}_6\text{C}$ 与 $^{14}_7\text{N}$ 具有相同的_____。
 (2) $^{13}_6\text{C}$ 与 $^{12}_6\text{C}$ 具有相同的_____。
 (3) $^{14}_6\text{C}$ 与 $^{14}_7\text{N}$ 具有相同的_____。
 (4) $^{15}_7\text{N}$ 与 $^{14}_7\text{N}$ 互为_____。

6. 某学生准备用质量分数为98%、密度为 $1.84 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 的浓硫酸配制500 mL $0.20 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的硫酸溶液。

(1) 从下列用品中选出实验所需要的仪器：_____（填字母）。

- A. 500 mL烧杯 B. 100 mL烧杯 C. 10 mL量筒 D. 100 mL量筒 E. 500 mL容量瓶
 F. 1 000 mL容量瓶 G. 胶头滴管 H. 托盘天平 I. 玻璃棒

(2) 请设计简单的实验方案, 写出实验步骤。

7. 现有四瓶失去标签的溶液, 分别为 CuCl_2 溶液、 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 溶液、 H_2SO_4 溶液、 HNO_3 溶液。若不用其他试剂进行区别, 请设计实验方案。

8. 实验室使用的浓盐酸的溶质质量分数一般为36.5%, 密度为 $1.19 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。

(1) 将多少升的氯化氢(标准状况)溶解到 1.00 L 水中, 可得到溶质质量分数为 36.5% 的浓盐酸?

(2) 求该浓盐酸的物质的量浓度。

9. 某白色固体试剂瓶标签已被污渍沾染(如右图)。

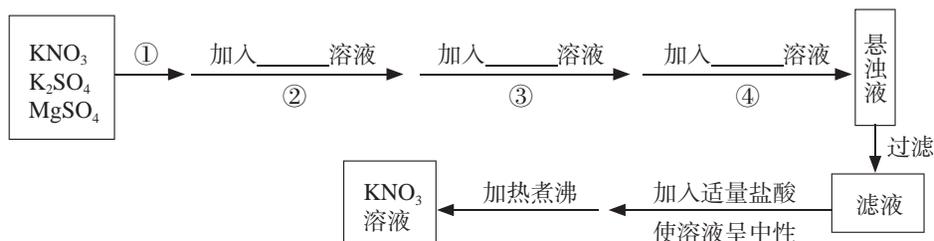


(1) 如果该试剂瓶中盛装的主要是 CaCO_3 粉末, 但是混有少量的 Na_2CO_3 , 如何测定 CaCO_3 粉末的质量分数? 简述实验步骤。

(2) 如何提纯混有少量 Na_2CO_3 粉末的 CaCO_3 ? 简述实验步骤。

10. 某同学在实验室配制了一瓶浓度约为 $0.10 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 NaOH 溶液。现欲测定其准确浓度, 用准确称取的 0.4080 g 邻苯二甲酸氢钾($\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$)溶于 20 mL 水所得的溶液与该 NaOH 溶液反应, 测得恰好完全反应时消耗该 NaOH 溶液的体积为 18.20 mL 。试计算该溶液中 NaOH 的物质的量浓度。(已知: $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4 + \text{NaOH} = \text{KNaC}_8\text{H}_4\text{O}_4 + \text{H}_2\text{O}$)

11. 为了将混有 K_2SO_4 、 MgSO_4 的 KNO_3 固体提纯, 并获得 KNO_3 溶液, 某同学设计了如下图所示实验方案:



(1) 操作①为_____。

(2) 操作②~④加入的试剂依次是_____。

(3) 如何判断 SO_4^{2-} 已除尽? 简述实验操作:_____。

(4) 实验过程中产生的多次沉淀_____ (填“需要”或“不需要”) 多次过滤, 理由是_____。

(5) 该同学设计的实验方案_____ (填“严密”或“不严密”), 理由是_____。



专题

3

从海水中获得的 化学物质



氯气及氯的化合物

金属钠及钠的化合物

海洋化学资源的综合利用



浩瀚的大海中蕴藏着丰富的化学资源。海水中溶解有 80 多种元素组成的不同物质，其中含量最高的是氯化钠。化学家以廉价海水中的氯化钠为原料，通过电解方法将其转化为生产、生活和科学实验中用途更为广泛的新物质。此外，人们还可以从海洋中获取多种资源。可以说，大海是一个巨大的、充满神奇的宝库，等待着人们去开发和利用。

第一单元 氯气及氯的化合物

海水中蕴含丰富的氯元素，它主要以氯化钠、氯化镁等氯化物的形式存在。人们可以采取物理方法或化学方法，将这些氯元素富集起来或转化成多种化工产品，满足人们的生产、生活和科学实验所需。人们从海水中获得氯单质及其化合物的过程，体现了化学科学在利用自然资源创造新物质中的独特作用。

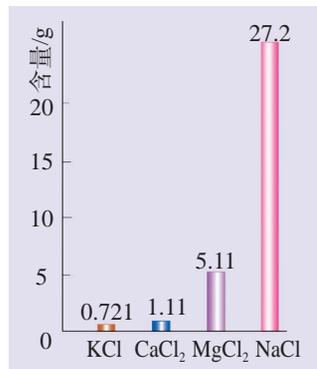


图 3-1 每千克海水中几种氯化物的含量



目标预览

通过本单元内容的学习，要求同学们努力达到：

以氯气及其化合物的性质为例，体会并初步掌握实验探究元素及其化合物性质的基本方法，能运用发展的、相互联系的、对立统一的观点理解化学变化；认识化学理论与方法对人类生产、生活和科学研究的积极影响。

氯气的发现与制备

海水中含有大量的氯元素，但其单质氯气的化学性质非常活泼，在自然界中不存在游离态^①的氯，都以化合态的形式存在。直到1774年，瑞典化学家舍勒（C.W. Scheele, 1742—1786）把浓盐酸与软锰矿（主要成分是MnO₂）混合在一起加热，意外地发现了一种具有强烈刺激性气味的黄绿色气体。1810年，英国化学家戴维（H. Davy, 1778—1829）仔细研究了这种黄绿色气体，并将其命名为氯气。上述反应可用于实验室制备氯气。

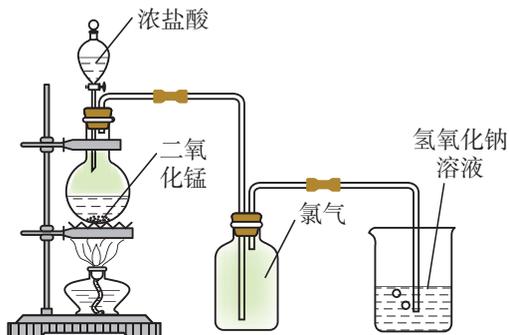


图 3-2 氯气的实验室制备

^① 在化学上，游离态是指某一元素不与其他元素化合而以单质存在的状态。

工业上对氯气的需求量很大。大量生产氯气不仅要求原料易得，而且价格也是必须考虑的重要因素，因此地球上巨量的海水就成为制备氯气首选的原料。19世纪，科学家发明了电解饱和食盐水制取氯气的方法，为工业制备氯气奠定了基础。如今，工业生产氯气主要是通过海水晒盐得到粗盐，除去杂质后，电解氯化钠饱和溶液来制备。

观察思考

1. 按图3-3所示装置进行实验，模拟工业制备氯气。

(1) 接通电源，观察铁棒和石墨棒上发生的现象。通电一段时间后，将小试管套在a管上，收集U形管左端产生的气体。2 min后，提起小试管，并迅速用拇指堵住试管口，移近点燃的酒精灯，松开拇指，检验收集到的气体。

(2) 取一支小试管，用向上排空气法收集从b管导出的气体，观察收集到的气体的颜色。

(3) 关闭电源，打开U形管左端的橡皮塞，向溶液中滴加1~2滴酚酞溶液，观察溶液颜色的变化。

2. 请根据实验现象推断，电解饱和食盐水得到了哪些产物？你推断的依据是什么？

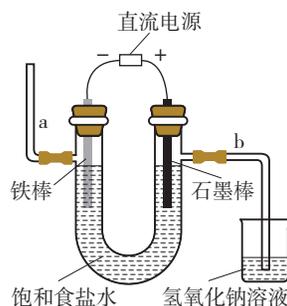


图 3-3 制备氯气的装置

实验表明，电解饱和食盐水可以得到黄绿色的氯气，同时生成氢气和氢氧化钠，所发生反应的化学方程式为：



以电解饱和食盐水为基础制取氯气、烧碱等产品的工业称为氯碱工业，它是目前化学工业的重要支柱之一。

学科提炼

技术应用促进化学科学发展

200多年前，科学家运用电解方法成功制备了一系列新物质，提高了反应的选择性，将原本不能进行的化学反应，通过外加电流迫使电子转移使之发生氧化还原反应。这一方法成为人类利用化学反应制备新物质的重要里程碑，电解也促进了化学分支科学——电化学的发展。电解将廉价海水中的氯化钠转化为生产、生活和科学实验中用途广泛的氢氧化钠、氯气和氢气，并应用隔膜电解槽的技术将产物分离出来，这充分说明了技术手段的创新，可以生产出更多人类发展所需要的新物质。

氯气的性质及应用

在通常情况下，氯气（chlorine gas）是一种黄绿色、密度比空气大、有刺激性气味的有毒气体。在加压的条件下，氯气转化为液态（称为液氯），可储存于钢瓶中，便于运输和使用。

实验表明，氯气是一种化学性质很活泼的非金属单质，在一定条件下能与多种金属和非金属单质反应，生成氯化物。



实验探究

完成下列实验，将观察到的现象和有关结论填入表3-1。

【实验1】切取一块绿豆粒大小的金属钠（切去钠的表层），用滤纸吸干其表面的煤油，置于石棉网上，用酒精灯微热。待金属钠熔成球状，将盛有氯气的集气瓶倒扣在钠球上方，观察现象。

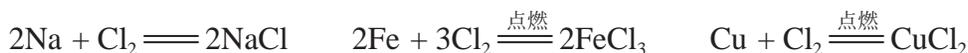
【实验2】将擦亮的细铁丝绕成螺旋状，一端系在一根粗铁丝上，另一端系上一段火柴梗。点燃火柴，待火柴即将燃尽时，迅速把细铁丝伸入盛有氯气的集气瓶中，观察实验现象。

【实验3】用坩埚钳夹住一束铜丝，加热至红热，立即放入盛有氯气的集气瓶中，观察实验现象。

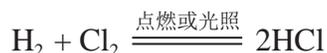
表 3-1 氯气的性质实验

实验序号	实验现象	推测生成物	用化学方程式表示
实验1			
实验2			
实验3			

实验证明，在通常情况下，活泼金属钠与氯气反应生成氯化钠；在微热条件下，钠可以在氯气中剧烈燃烧。铁在氯气中燃烧生成氯化铁，铜在氯气中燃烧生成氯化铜。



氢气与氯气在点燃或光照条件下化合生成氯化氢，氯化氢溶于水得到盐酸。工业上利用电解饱和食盐水得到的氯气和氢气制取盐酸。



在自来水生产过程中，也曾加入一定量的氯气来实现杀菌消毒的目的。那么氯气通入水中后发生了怎样的化学变化呢？

实验探究



1. 氯气在水中的溶解实验。

用一支100 mL针筒抽取80 mL氯气，再抽取20 mL水，振荡，观察实验现象，并得出结论：_____。

2. 氯水的成分探究。

提出问题：氯气溶解于水，是否会与水发生反应？氯气溶于水后溶质微粒以什么形式存在？

建立假设：氯气溶于水后会与水发生反应，反应后溶液中可能存在的微粒有_____。

实验探究：

【实验1】将干燥的有色布条和湿润的有色布条分别放入两瓶干燥的氯气中，观察并比较实验现象。

【实验2】分别用玻璃棒蘸取新制氯水和稀盐酸，滴在pH试纸上，观察并比较实验现象。

【实验3】在洁净的试管中加入1 mL新制氯水，再向试管中加入几滴硝酸银溶液和稀硝酸，观察实验现象。

现象分析：

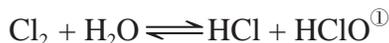
表 3-2 氯水的性质实验

实验序号	实验现象	分析解释
实验1		
实验2		
实验3		

得出结论：_____。

实验证明，氯气能溶解于水。常温常压下，1体积水约能溶解2体积氯气，氯气溶于水得到的氯水呈浅黄绿色。

上述实验表明，氯气溶于水得到的氯水显酸性，有漂白作用，氯水中存在 Cl^- 。进一步的实验证明，溶解在水中的部分氯气能与水反应，生成盐酸和次氯酸（hypochlorous acid）。因此，氯水中含有 Cl_2 、 HClO 等分子，也含有 H^+ 、 Cl^- 等离子。这说明 Cl_2 与 H_2O 不能完全反应，它们的反应只能进行到一定的限度，用化学方程式表示为：

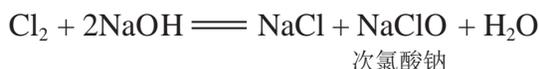


① 在化学方程式中， \rightleftharpoons 表示在相同条件下该反应既能向正反应方向进行，又能向逆反应方向进行，这种化学反应叫作可逆反应。

次氯酸能使染料等有机色素褪色，有漂白作用，还能杀菌消毒。次氯酸不稳定，容易分解放出氧气，在阳光的照射下，次氯酸分解加快。



生活中常用的含氯漂白剂中含有次氯酸盐。工业上利用氯碱工业中得到的氯气和氢氧化钠反应制取漂白剂（有效成分为次氯酸钠），利用氯气和石灰乳反应制取漂白粉（有效成分为次氯酸钙）。



次氯酸盐溶于水后与空气中的二氧化碳反应会生成次氯酸，因此，漂白粉在使用时需加水浸泡片刻，才能更好地发挥漂白效果。



生活向导

含氯消毒剂的合理使用

人们为保证家中所用器具或居住环境的洁净卫生，往往会使用各种各样的消毒剂，其中含氯消毒剂（如常用的漂白粉、“84”消毒液等）是目前广泛使用的一类消毒剂。

漂白粉需要密封保存以防止变质失效。家庭使用漂白粉进行消毒时，不能长期露置于空气中，以免漂白粉有效成分变质导致消毒效果下降。含氯漂白剂与洁厕剂（含有盐酸）不能混合使用，否则两者将发生氧化还原反应产生氯气，对人的呼吸道有强烈的刺激作用，严重的还会导致中毒。

氯气是一种重要的化工原料，在生产和生活中的应用十分广泛。氯气可用于消毒，制造盐酸、漂白剂、农药等，氯气还广泛应用于合成聚氯乙烯、制备药物、冶金及染料工业等各个领域。

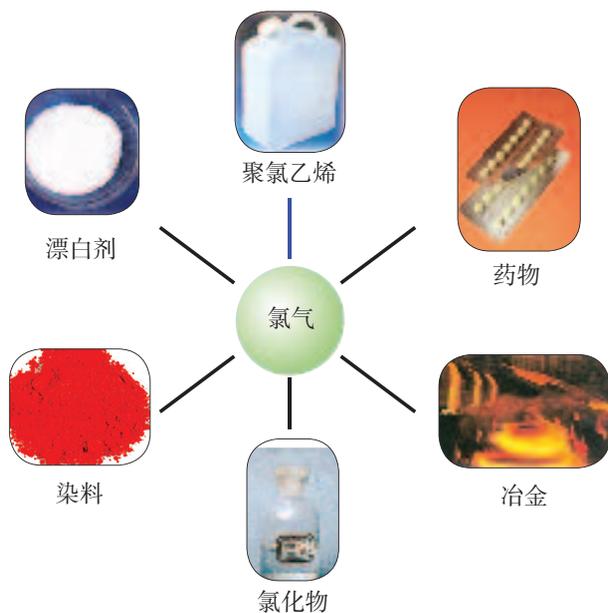


图 3-4 氯气的应用

拓展视野

新型灭菌消毒剂——二氧化氯

在通常情况下，二氧化氯 (ClO_2) 是一种有刺激性气味的黄绿色气体，沸点为 $11\text{ }^\circ\text{C}$ 。在常温下， 1 L 水中约能溶解 2.9 g 二氧化氯。它在水中的杀菌、消毒能力比氯气强，效果更持久，受水体的 pH 变化影响小，且使用起来非常方便、安全。

二氧化氯的应用十分广泛，除用于一般的杀菌、消毒外，还用于环保、灭藻、漂白、保鲜等。二氧化氯现已被世界卫生组织 (WHO) 列为 A1 级高效安全灭菌消毒剂。由于其他含氯消毒剂在消毒过程中易形成致癌物质，我国从 2000 年起就逐渐用二氧化氯替代氯气对饮用水进行消毒。

氧化还原反应

温故知新

请从元素的化合价是否发生变化的角度，对氯气和金属钠的化学反应进行分类，它属于何种反应类型？反应中化合价发生变化的原因是什么？

我们知道，元素的化合价与其最外层电子数有关。在氯气和钠的化学反应中，钠原子（Na）失去最外层上的一个电子变成钠离子（Na⁺），形成稳定的电子层结构，钠元素由0价变为+1价；氯原子（Cl）得到一个电子变成氯离子（Cl⁻），形成稳定的电子层结构，氯元素由0价变为-1价。

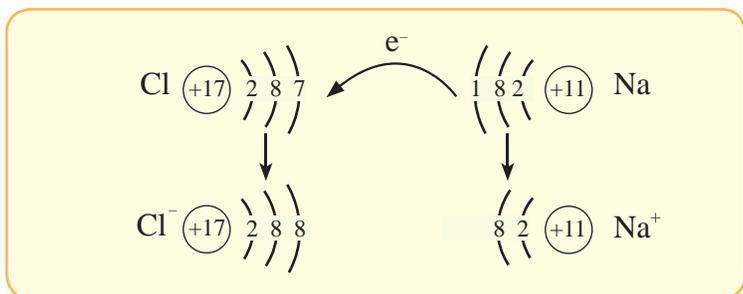


图 3-5 钠原子与氯原子之间的电子转移

在反应过程中，钠原子与氯原子之间发生了电子转移，导致钠元素与氯元素的化合价发生改变。为了更好地说明钠与氯气的反应中电子转移的情况，我们常用如下方式表示电子转移的方向和数目。



图 3-6 电子转移的表示

可见，氧化还原反应是有电子转移的化学反应。没有电子转移的化学反应称为非氧化还原反应。在氧化还原反应中，失去电子的物质是还原剂，还原剂发生氧化反应，表现出还原性；得到电子的物质是氧化剂，氧化剂发生还原反应，表现出氧化性。



学以致用

高锰酸钾与浓盐酸在一定条件下可以反应生成氯气。



该反应是氧化还原反应吗？如果是，指出反应中化合价发生变化的元素，分析电子转移的方向和数目，并指出氧化剂和还原剂。如果不是，请给出理由。

在自然界中，氧化还原反应大量存在。氧化还原反应在生产、生活和生命活动中起着十分重要的作用。例如，燃料的燃烧与利用、金属的冶炼、食品的加工与保存、环境污染的监测与治理以及许多生物化学过程都涉及氧化还原反应。

学科提炼



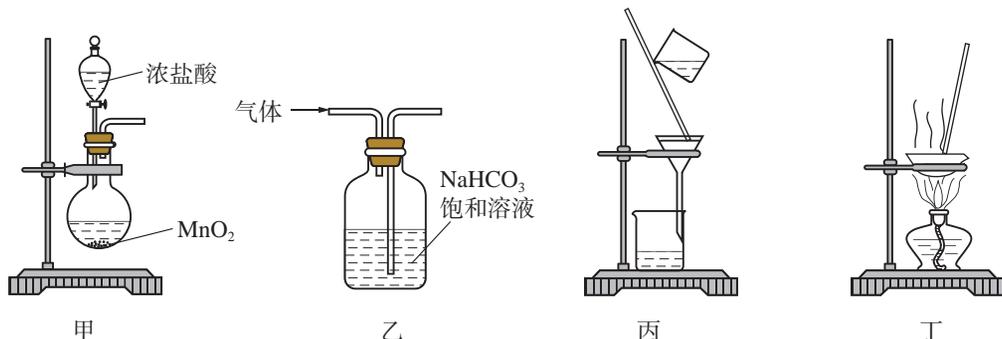
氧化还原反应中的守恒

守恒现象在化学变化过程中普遍存在。我们已经知道，参加化学反应的各物质的总质量等于反应后生成的各物质的总质量。从元素的化合价变化考察氧化还原反应，反应前后元素化合价升、降的总数相等；从电子转移的角度来认识氧化还原反应，反应中氧化剂得电子的数目等于还原剂失电子的数目。氧化还原反应中从化合价变化到得失电子数守恒，体现了人们对化学反应由表及里，由片面到全面，逐渐深入本质的认识过程。

理解应用

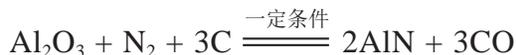
- 下列叙述中错误的是 ()
 - 液氯是纯净物，氯水是混合物
 - 漂白粉的有效成分是 $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 和 CaCl_2
 - $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 比 HClO 稳定
 - 氢气在氯气中燃烧是工业制盐酸的方法
- 下列反应中，参加反应的化合物作还原剂的是 ()
 - 用锌和稀硫酸反应制取氢气
 - 在高温下用氢气还原氧化铜得到单质铜
 - 用碳和水蒸气在高温下反应制取氢气
 - 用氯气和溴化钠反应生成溴和氯化钠
- 氯气是一种有毒气体，一旦遇到少量氯气泄漏，下列措施中不合理的是 ()
 - 人群向高处疏散
 - 人群朝顺风向疏散
 - 用浸有水或弱碱性溶液的毛巾捂住口鼻
 - 向泄漏地点撒石灰
- 我国自主研发的第五代单座双发隐形战斗机歼-31使用了高强度、耐高温的钛合金材料。工业上冶炼钛的反应为 $\text{TiCl}_4 + 2\text{Mg} \xrightarrow{\text{高温}} \text{Ti} + 2\text{MgCl}_2$ 。下列有关该反应的说法中，正确的是 ()
 - TiCl_4 是还原剂
 - Mg 被氧化
 - TiCl_4 中氯元素被氧化
 - 每1 mol TiCl_4 被还原时转移2 mol电子

5. 下列装置应用于实验室制氯气并回收氯化锰的实验，能达到实验目的的是 ()



- A. 用装置甲制取氯气
- B. 用装置乙除去氯气中的少量氯化氢
- C. 用装置丙分离二氧化锰和氯化锰溶液
- D. 用装置丁蒸干氯化锰溶液制得 $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

6. 氮化铝 (AlN) 具有耐高温、抗冲击、导热性好等优良性能，广泛应用于电子工业、陶瓷工业等领域。在一定条件下，氮化铝可通过如下反应合成：



- (1) 在化学方程式上标出该反应中电子转移的方向和数目。
- (2) 该反应中，氧化剂是_____，还原剂是_____。

7. 写出下列反应的化学方程式，标出电子转移的方向和数目，并指出氯气在反应中表现出什么性质。

- (1) 氢气在氯气中燃烧。
- (2) 氯气与氢氧化钠反应。
- (3) 铁在氯气中燃烧。

8. 解释下列现象产生的原因。

- (1) 将氯水滴入紫色石蕊试液中，可以看到石蕊试液先变红后褪色。
- (2) 将氯水滴入硝酸银溶液中，有白色沉淀生成。
- (3) 向氯水中滴加碳酸钠溶液，有气体生成。

9. 电解饱和食盐水产生氯气、氢气和氢氧化钠，氯气与石灰乳反应可制得漂白粉。

- (1) 请写出上述过程中发生反应的化学方程式。
- (2) 若电解饱和食盐水时有 117 g NaCl 被电解，理论上最多可生成氯气多少升 (标准状况)？
- (3) 若将 2 mol 氯气通入足量的石灰乳中，理论上可得到次氯酸钙多少克？

第二单元 金属钠及钠的化合物

钠元素在自然界中分布很广，储量极为丰富，都以化合态存在，如氯化钠、碳酸钠、硫酸钠等。含钠的化合物（如食盐、纯碱、小苏打等）在生产、生活中被广泛应用。为什么自然界中不存在钠单质？怎样才能获得钠单质？19世纪初，英国化学家戴维在实验室中首次制得了金属钠，为深入探究钠的性质提供了可能，也为金属钠的广泛应用奠定了基础。



目标预览

通过本单元内容的学习，要求同学们努力达到：

以钠及其化合物的性质为例，通过微观分析和实验探究揭示物质的性质；能结合实验中的现象和数据，尝试概括出具体物质发生化学反应的条件、特征与规律；能运用化学符号表征化学反应；能运用化学变化规律解释或解决生产、生活中的实际问题。

钠的性质与制备

钠原子的最外电子层只有一个电子，在与其它物质反应时，钠原子很容易失去最外层的一个电子，形成具有稳定电子层结构的钠离子。

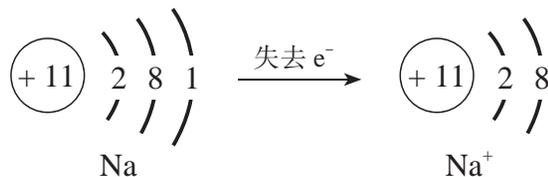


图 3-7 钠离子的形成

因此，钠的化学性质很活泼，能与许多物质发生化学反应，生成钠的化合物。



观察思考

完成下列实验，将观察到的现象及有关结论或解释填入表格。

【实验1】取一小块钠，用滤纸吸干表面的煤油，用小刀切去一端的表层，仔细观察钠表面的颜色。记录钠的状态、颜色、硬度。

_____。
【实验2】取一小块钠，用滤纸吸干表面的煤油，置于石棉网上，加热石棉网至钠发生燃烧，观察实验现象并记录。

表 3-3 钠在空气中的反应

	实验现象	结论（或化学方程式）
钠放置在空气中		
在空气中加热钠		

【实验3】向一只盛有水的小烧杯中滴加几滴酚酞溶液，然后投入一小块（约绿豆粒大小）金属钠（吸干煤油，并切去钠的表层），尽可能多地记录下你所观察到的实验现象，并对其作出合理的解释。

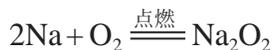
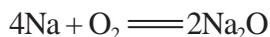
表 3-4 钠与水的反应

实验现象	分析解释

根据上述反应现象以及反应中钠元素化合价的变化，尝试总结钠的一些性质。

钠（sodium）是一种银白色的金属，质软，密度为 $0.97 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ，熔点为 $97.8 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

金属钠暴露在空气中很不稳定，极易和空气中的氧气发生化学反应，生成白色的氧化钠。钠在空气中燃烧，生成淡黄色的过氧化钠。

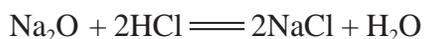
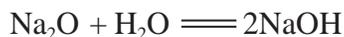


钠单质还能与许多其他的非金属单质反应。在反应中，钠失去电子，表现出还原性。钠遇水立即发生剧烈反应，生成氢气和氢氧化钠。



因此，实验室常常将钠保存在煤油中。

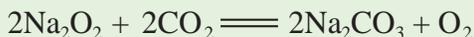
氧化钠是碱性氧化物，可与水反应生成氢氧化钠，也可与酸反应生成钠盐和水。



交流讨论

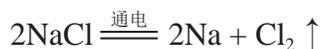


过氧化钠是一种淡黄色的固体，具有强氧化性，可与水反应生成氢氧化钠和氧气，也可与二氧化碳反应生成碳酸钠和氧气。

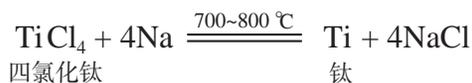


过氧化钠可作漂白剂和呼吸面具中的供氧剂，请说明原因。

工业上通常采用电解熔融氯化钠的方法制取单质钠。



金属钠的用途广泛。充有钠蒸气的高压钠灯发出的黄光射程远，透雾能力强，常用于道路和广场的照明。钠和钾形成的合金熔点低，常温下呈液态，导热性好，可用作快中子反应堆的热交换剂。利用钠的强还原性，在一定条件下还可以将钛、锆、铌等稀有金属从其氯化物中置换出来，例如：



科学史话

戴维用电解法发现新元素

1799年，意大利物理学家伏打（A. Volta, 1745—1827）利用金属活动性顺序，发明了伏打电池。次年，英国化学家尼科尔森（W. Nicholson, 1753—1815）利用伏打电池成功



图 3-8 汉弗莱·戴维
(H. Davy, 1778—1829)

地分解了水。从此，电在化学研究中的应用引起了科学家的广泛关注。1806年，英国化学家戴维对前人有关电在化学反应中的研究进行了总结，预言这种手段除可以把水分解为氢气和氧气外，还可能分解其他物质，这一想法把电与物质组成联系起来，从而推动了一系列新元素的发现。

为了确定强碱物质的元素组成，戴维最初用氢氧化钾或氢氧化钠的饱和溶液进行了电解实验，实验结果发现，碱没有变化，产物和水的电解结果一样。通过分析，他认为应该排除水这个干扰因素，于是改用熔融氢氧化钾，结果发现阴极周围出现了剧烈燃烧的火焰，分解出的产物被燃烧了。后来他换用碳酸钾并通以强电流进行实验，但阴极上出现的金属颗粒也很快被燃烧掉了。经过总结和反思，戴维尝试在密闭坩埚内电解熔融氢氧化钾，成功得到了一种银白色金属，这种金属在水中能发生剧烈反应并产生淡紫色火焰。由此，戴维判断这是一种新金属，取名为钾。不久，他又从熔融态的碳酸钠中电解出了金属钠。

次年，戴维用同样的电解方法，从苦土（主要成分为氧化镁）、石灰、菱锶矿（主要成分为碳酸锶）和重晶石（主要成分为硫酸钡）中又分别发现了新元素镁、钙、锶和钡。

戴维由金属钾可从水中置换出氢气受到启发，认为钾在一定的条件下也应该能置换出其他物质。1808年，他将钾与无水硼酸混合，在铜管中加热，得到了青灰色的非金属硼。这样，在不到两年的时间里，戴维就发现了7种新元素，如果加上他1810年和1813年确定的氯元素和碘元素，戴维一生发现和确认的元素就有9种，奠定了他在元素发现史上无人能比的地位。

碳酸钠 碳酸氢钠



温故知新

1. 碳酸钠和碳酸钙都是重要的碳酸盐。在初中我们已经学习过碳酸钙的性质，你能据此推测碳酸钠可能具有哪些性质吗？
2. 碳酸钠为什么被称为纯碱？它和小苏打有什么关系呢？

碳酸钠、碳酸氢钠是钠的两种重要的化合物，在日常生活和工业生产中有着广泛的应用。

碳酸钠是白色固体，俗称纯碱或苏打，易溶于水，在水中电离产生 Na^+ 、 CO_3^{2-} 。碳酸钠能与许多物质发生反应。

实验探究



完成下列实验，将实验现象和结论填入表3-5。

【实验1】在两支洁净的试管中分别加入2~3 mL澄清石灰水和氯化钙溶液，再分别向上述两支试管中滴加碳酸钠溶液，振荡，观察实验现象。

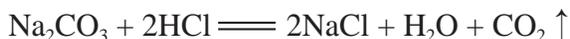
【实验2】用pH试纸测定碳酸钠溶液的pH。

【实验3】在一只烧杯中加入50 mL $0.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 碳酸钠溶液，用酒精灯将其加热至接近沸腾。将一块沾有油污的铜片浸入碳酸钠溶液中，静置约2 min。用镊子将铜片从溶液中取出后，用水冲洗干净。比较浸入碳酸钠溶液前后铜片表面的情况。

表 3-5 碳酸钠的性质实验

实验序号	实验现象	结论（或化学方程式）
实验1		
实验2		
实验3		

碳酸钠能与酸反应，也能与某些碱和盐反应。



向碳酸钠溶液中通入二氧化碳可以生成碳酸氢钠。



碳酸氢钠是白色固体，俗称小苏打，常温下溶解度小于碳酸钠，在水中电离产生 Na^+ 和 HCO_3^- ，水溶液呈碱性。碳酸氢钠在医疗上可用于治疗胃酸过多，常见的苏打水饮料中也含有碳酸氢钠。

碳酸氢钠固体不稳定，受热分解得到碳酸钠、二氧化碳和水。碳酸氢钠是发酵粉的主要成分之一。



学以致用

根据提供的实验现象和有关知识将下表补充完整。

表 3-6 碳酸钠与碳酸氢钠的性质比较

性质	Na_2CO_3	NaHCO_3	性质比较
水溶性			
溶液的酸碱性			物质的量浓度相同时， Na_2CO_3 溶液的pH比 NaHCO_3 溶液的大
热稳定性			
与酸反应			都放出 CO_2 气体，但 NaHCO_3 与酸的反应比 Na_2CO_3 更剧烈

碳酸钠和碳酸氢钠都是白色固体，如何依据它们的性质差异来区分碳酸钠和碳酸氢钠呢？



实验探究

利用表3-6中碳酸钠和碳酸氢钠的性质比较，设计一种区别碳酸钠和碳酸氢钠固体的实验方案，并将自己的方案及对实验现象的预测与同学交流。

表 3-7 区别碳酸钠和碳酸氢钠的实验

实验方案	实验现象	结论

碳酸钠是盐，其水溶液呈碱性。日常生活中，常用热的纯碱溶液去除物品表面的油污。在工业上，纯碱还是一种重要的化工原料，用途很广。纺织、造纸、制皂、玻璃生产等都需要大量的碳酸钠。随着这些工业的不断发展，对碳酸钠的需求也进一步增大。



图 3-9 碳酸钠的应用

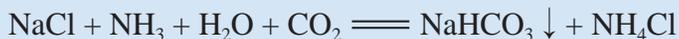


科学史话

侯氏制碱法

纯碱是人类最早制取和使用的化学物质之一。人们早期是通过盐碱湖获得纯碱的。1861年，比利时人索尔维（E. Solvay，1838—1922）创立了氨碱法制碱工艺，以食盐、石灰石和氨为原料制得了碳酸钠，但该法对原料的利用率较低。

我国化学家侯德榜发现了氨碱法生产的不足之处，并于1943年提出了著名的侯氏制碱法（又称联合制碱法），即将二氧化碳通入氨化的氯化钠饱和溶液中，使溶解度小的碳酸氢钠从溶液中析出：



过滤得到的碳酸氢钠晶体受热分解后生成碳酸钠。此方法将氨碱法和合成氨法两种工艺联合起来，同时得到纯碱和氯化铵两种产品，提高了食盐的利用率，缩短了生产流程，减少了对环境的污染，降低了成本，为中国赢得了荣誉。



图 3-10 中国化学家侯德榜（1890—1974）

离子反应

电解质溶液具有导电性，物质的量浓度不同的不同电解质溶液，其导电能力是否相同呢？

实验探究



在4只100 mL的小烧杯中分别加入50 mL物质的量浓度均为 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的盐酸、醋酸溶液、氢氧化钠溶液和氨水，分别按图3-11所示装置进行实验，接通电源，观察实验现象并分析原因。

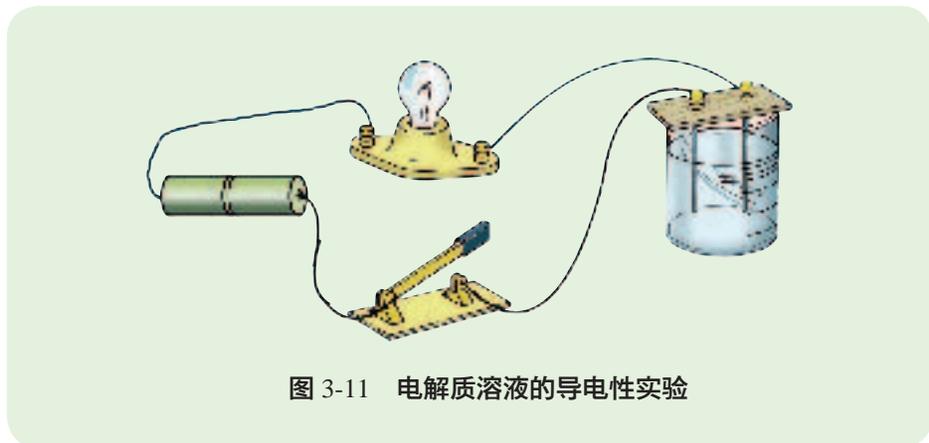
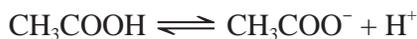


图 3-11 电解质溶液的导电性实验

实验表明，当物质的量浓度相等时，醋酸溶液和氨水的导电能力明显弱于盐酸和氢氧化钠溶液的导电能力。这是因为HCl、NaOH在水溶液中能完全电离，而CH₃COOH、NH₃·H₂O在水溶液中只发生部分电离。当电解质不完全电离时，书写电离方程式要用“ \rightleftharpoons ”代替“ \rightleftharpoons ”。



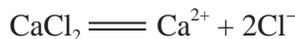
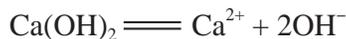
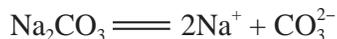
强酸（如H₂SO₄、HCl、HNO₃等）、强碱（如NaOH、KOH等）和绝大多数盐在水溶液中能完全电离，这样的电解质称为**强电解质**（strong electrolyte）。弱酸（如H₂CO₃、CH₃COOH、HClO等）、弱碱（如NH₃·H₂O等）等在水溶液中不能完全电离，这样的电解质称为**弱电解质**（weak electrolyte）。



交流讨论

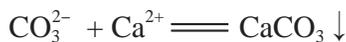
酸、碱、盐等电解质在水溶液中能电离出自由移动的离子，它们在水溶液中发生反应，其本质是什么？Na₂CO₃溶液分别与澄清石灰水、CaCl₂溶液反应，都有白色的CaCO₃沉淀生成，这两个反应的实质是否相同？

我们知道，Na₂CO₃、Ca(OH)₂和CaCl₂在水溶液中分别发生如下电离：



碳酸钠溶液分别与澄清石灰水、氯化钙溶液的反应， Na^+ 、 OH^- 、 Cl^- 之间没有发生化学反应，其实质是溶液中的 CO_3^{2-} 与 Ca^{2+} 结合生成难溶的 CaCO_3 白色沉淀。

像这样有离子参加的化学反应称为**离子反应**（ionic reaction）。离子反应可用**离子方程式**（ionic equation）表示。上述碳酸钠溶液分别与澄清石灰水、氯化钙溶液的反应均可以用以下离子方程式表示：

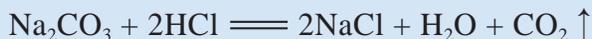


方法导引

离子方程式的书写

初学离子方程式的书写，可以分四步进行，下面以碳酸钠与盐酸的反应为例加以说明。

1. 写出反应的化学方程式。



2. 把溶于水且完全电离的物质写成离子形式，难溶于水或溶于水但难电离的物质仍用化学式表示。



3. 删去化学方程式两边不参加反应的离子。



4. 检查离子方程式两边各元素的原子数目和离子所带的电荷总数是否相等。

化学方程式和离子方程式都能表示物质在水溶液中发生的化学变化，但意义不同。化学方程式只能表示某一个特定的化学反应，而离子方程式可以表示同一类化学反应。例如 $\text{HCl} + \text{NaOH} \rightleftharpoons \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ 仅表示一个反应，而 $\text{H}^+ + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}$ 可以表示强酸溶液与强碱溶液作用生成可溶性盐和水的中和反应。

交流讨论



根据离子方程式的书写规则，写出下列反应的离子方程式。

(1) 盐酸与氢氧化钠溶液反应。

(2) 稀硫酸与氢氧化钾溶液反应。

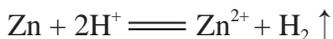
(3) 硫酸钠溶液与氯化钡溶液反应。

(4) 硫酸钾溶液与氢氧化钡溶液反应。

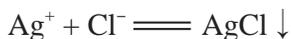
观察(1)和(2)、(3)和(4)两组反应,分析它们有什么特点。

电解质在水溶液中的反应,本质上是离子之间的反应。酸、碱、盐在水溶液中的复分解反应,实质上是电解质在溶液中相互交换离子的反应。当离子间结合生成难溶物质、难电离物质或易挥发物质时,反应就能进行。

许多在水溶液中进行的氧化还原反应也可用离子方程式来表示。如锌和稀硫酸的反应实质上是Zn和溶液中的H⁺的反应。



离子反应广泛用于化学研究、化工生产、医疗诊断和环境保护等各个领域,化学实验中也常用相关的离子反应定性地检验某溶液中是否含有某离子。例如,在化学研究中,向某溶液中滴加稀硝酸和硝酸银溶液,如果产生白色沉淀,说明该溶液中含有Cl⁻。



理解应用

- 下列有关金属钠的说法中,错误的是()
 - 钠只有在加热条件下才能与氯气反应
 - 钠与氧气反应的产物与反应条件有关
 - 钠在化学反应中易失去电子,表现出还原性
 - 实验室中少量金属钠保存在煤油中
- 下列有关Na₂CO₃和NaHCO₃的叙述中,错误的是()
 - 热稳定性: Na₂CO₃ > NaHCO₃
 - 可以用澄清石灰水来鉴别Na₂CO₃和NaHCO₃
 - 在一定的条件下, Na₂CO₃与NaHCO₃之间可以相互转化
 - 等质量的Na₂CO₃和NaHCO₃与足量盐酸反应, NaHCO₃放出的CO₂更多

3. 等物质的量浓度的下列溶液中, 导电能力最强的是 ()
- A. 盐酸
B. 醋酸溶液
C. 氨水
D. 蔗糖溶液
4. 下面各组物质中, 前者为强电解质, 后者为弱电解质的是 ()
- A. 硫酸, 硫酸镁
B. 碳酸, 碳酸钠
C. 食盐, 酒精
D. 碳酸氢钠, 醋酸
5. 离子方程式 $\text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$ 中的 CO_3^{2-} 代表的物质可以是 ()
- A. CaCO_3
B. NaHCO_3
C. Na_2CO_3
D. BaCO_3
6. 下列反应的离子方程式中, 书写正确的是 ()
- A. 铁粉与稀硫酸反应: $2\text{Fe} + 6\text{H}^+ \rightleftharpoons 2\text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2 \uparrow$
B. 钠与水反应: $\text{Na} + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Na}^+ + 2\text{OH}^- + \text{H}_2 \uparrow$
C. 鸡蛋壳 (主要成分为 CaCO_3) 与醋酸反应: $\text{CaCO}_3 + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$
D. 小苏打与盐酸反应: $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$
7. 下列各组离子在溶液中能大量共存的是 ()
- A. Mg^{2+} 、 K^+ 、 OH^-
B. Ba^{2+} 、 Na^+ 、 SO_4^{2-}
C. K^+ 、 HCO_3^- 、 OH^-
D. K^+ 、 Cu^{2+} 、 NO_3^-
8. 为除去下列物质中的少量杂质 (括号内), 请写出所加的试剂或操作, 并写出相应的化学方程式, 是离子反应的, 请写出离子方程式。
- (1) Na_2CO_3 固体 (NaHCO_3): _____
- (2) NaHCO_3 溶液 (Na_2CO_3): _____
- (3) NaOH 溶液 (Na_2CO_3): _____
- (4) NaCl 溶液 (Na_2CO_3): _____
9. 碳酸钠和碳酸氢钠是用途广泛的化合物。在实验室中, 充分加热碳酸钠和碳酸氢钠的混合物 4.80 g, 完全反应后称得剩余固体质量为 3.87 g, 求混合物中碳酸氢钠的质量分数。

第三单元 海洋化学资源的综合利用

浩瀚的海洋是一个巨大的宝库，海水是一种取之不尽的资源。海水中含有80多种元素，地球上绝大部分的溴、碘元素都存在于海洋中，镁的含量也很大。随着科学技术的不断发展，除了海水之外，人们还在不断开发和利用海洋植物以及海底资源，以满足生产、生活和科学研究的需要。

表 3-8 海水中主要元素的含量

元素	浓度/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	元素	浓度/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	元素	浓度/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)
锂 Li	0.17	钴 Co	0.000 5	碘 I	0.06
硼 B	4.6	镍 Ni	0.002	铯 Cs	0.000 5
钠 Na	10 770	溴 Br	67	钡 Ba	0.03
镁 Mg	1 290	铷 Rb	0.12	金 Au	0.000 004
硫 S	885	锶 Sr	8	汞 Hg	0.000 03
氯 Cl	19 350	钼 Mo	0.01	铀 U	0.003
钾 K	380	银 Ag	0.000 04		
钙 Ca	400	镉 Cd	0.000 11		



目标预览

通过本单元内容的学习，要求同学们努力达到：

初步了解海洋化学资源的分布；能依据物质性质和实验方法设计资源综合利用的方案；具有绿色化学的意识；认识化学科学在开发利用自然资源、制备新物质、保护环境和促进科技发展等方面发挥的积极作用。



粗盐提纯

经过海水晒盐获得的粗盐并不能直接用作化工原料，这是由于粗盐中含有其他一些盐（如 CaCl_2 、 MgCl_2 、 Na_2SO_4 ）和难溶性杂质。将粗盐溶于水，过滤除去难溶性杂质后，如何进一步除去可溶性杂质以提纯粗盐呢？

表 3-9 海水在浓缩过程中析出盐的种类和质量
(每升海水析出各种盐的质量单位为克)

海水密度 / ($\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	CaSO_4	NaCl	MgCl_2	MgSO_4	NaBr
1.13	0.56				
1.20	0.91				
1.21	0.05	3.26	0.004	0.008	
1.22	0.015	9.65	0.01	0.04	
1.26	0.01	2.64	0.02	0.02	0.04
1.31		1.40	0.54	0.03	0.06



粗盐中杂质离子的去除

基础实验



粗盐中含有可溶性杂质 (CaCl₂、MgCl₂、Na₂SO₄)，请选择合适的仪器和试剂，设计实验操作步骤，完成粗盐提纯实验，并将结果填入下表。

表 3-10 粗盐所含的杂质与提纯步骤

步骤	杂质	加入的试剂	离子方程式
1			
2			
3			
4			

请思考：按一定顺序加入试剂除去杂质后，是否会引入新的杂质？如果有，应如何除去？

工业上运用物理方法、化学方法将粗盐进行提纯后，就可以获得基础化工原料氯化钠。

从海水中提取溴

从海水中除了可以提取食盐外，还可以提取镁、溴等元素。世界上99%的溴都蕴藏于大海中，通常利用氧化还原反应原理，将氯气通入提取食盐后的母液（用硫酸酸化以抑制氯、溴与水的反应）中，将溶液中的溴离子转化为溴单质：



生成的溴单质仍然溶解在水中，可鼓入热空气，使溴从溶液中挥发出来，实现与母液的分离，冷凝后得到粗溴，将粗溴精制可以得到高纯度的溴单质。

将溴进一步加工，就可以获得我们想要的各种产品，多用于制备药物、感光剂等。例如，过去常用的消毒药剂“红药水”中就含有溴元素，溴化钾、溴化钠、溴化铵等可配成镇静剂，青霉素等药物生产也需要溴。溴还是制造农业杀虫剂、阻燃剂的原料。此外，溴化银可被用作医疗X射线胶片上的感光剂，当用X射线照射胶片时，胶片上的部分溴化银就分解出银，再经化学方法处理后得到照片的底片。



学以致用

变色玻璃中通常会加入适量的溴化银和氧化铜的微小晶粒。当强光照射到玻璃上，溴化银分解为银和溴单质，分解出的银原子聚集成银的微小晶粒，使玻璃呈现暗棕色，能挡住大部分光线；当光线变暗，银和溴在氧化铜的催化作用下，重新生成溴化银，于是玻璃的颜色自动变浅，透光性增强。

请写出上述变化中发生反应的化学方程式：_____

_____。

从海水中提取镁

自然界中的镁主要以化合态的形式存在于地壳和海水中。海水中镁的总储量约为 2.1×10^{15} t。工业上从海水中提取镁的生产流程如图3-12所示。

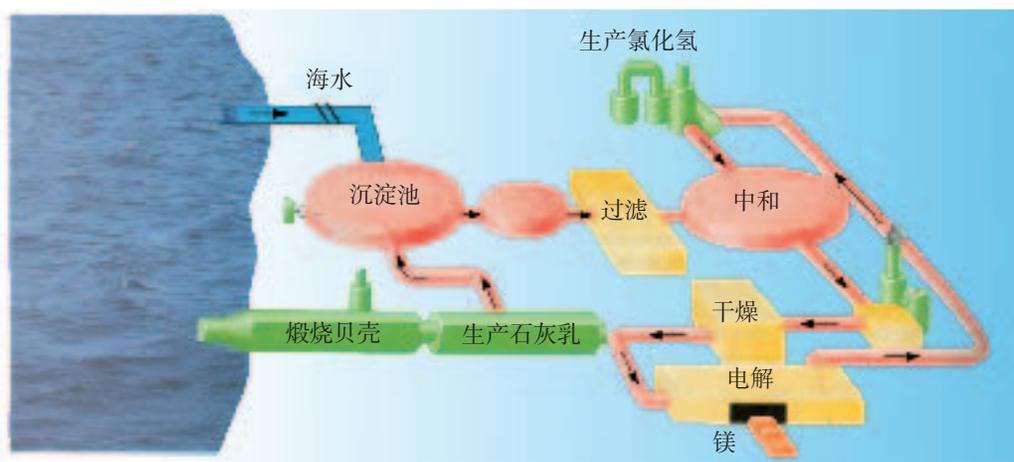
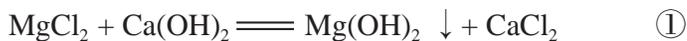
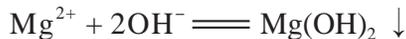


图 3-12 从海水中提取镁的工业生产流程

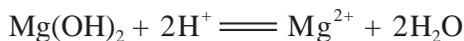
从海水中提取镁的步骤是将石灰乳加入海水沉淀池中，得到氢氧化镁沉淀，再将氢氧化镁与盐酸反应，得到的溶液蒸发结晶，可获得六水合氯化镁晶体 ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)。石灰乳可利用海边大量存在的贝壳煅烧成石灰制得。



反应①实质上是 Mg^{2+} 与 OH^- 结合成 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 沉淀。



反应②实质上是 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 与 H^+ 反应生成 Mg^{2+} 与 H_2O 。



将六水合氯化镁晶体在一定条件下加热生成无水氯化镁。电解熔融的氯化镁可以得到金属镁。



镁(magnesium)是一种重要的金属材料,密度小,能与铜、铝等金属形成合金。镁合金因密度小,硬度和强度都较大等优点,被广泛用于制造火箭、导弹和飞机的部件等。氧化镁的熔点高达 $2800\text{ }^\circ\text{C}$,是优质的耐高温材料。



拓展视野

镁的原子结构与性质

镁原子最外层有2个电子,在化学反应中容易失去,形成镁离子。因此,镁是活泼金属,可以与某些非金属单质、酸等物质发生反应。



镁能在二氧化碳中燃烧,生成氧化镁。



从海带中提取碘

海水中碘的总储量很大,但由于其浓度很低,目前工业上并不直接通过海水提取碘,而是以具有富集碘能力的海藻(如海带等)为原料获取碘。工业上从海带中提取碘的生产过程如图3-13所示。

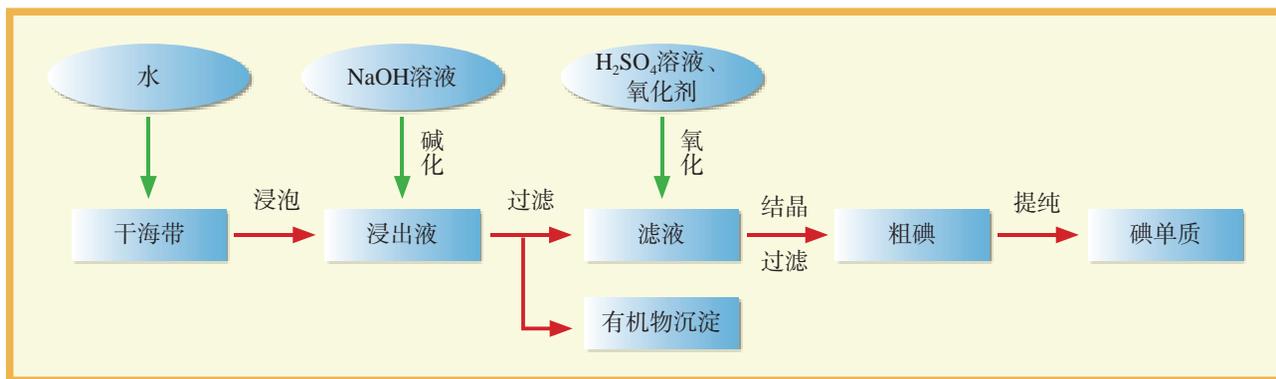


图 3-13 从海带中提取碘的工业生产过程

海带中所含的碘元素在浸泡时以碘离子 (I^-) 的形式进入水中，然后利用氧化还原反应，把浸出液中的碘离子氧化成碘单质。现代工业上也用离子交换法处理含碘离子的溶液以提高碘的提取率。



实验探究

加碘盐中碘元素的检验

碘在加碘盐中以 IO_3^- 的形式存在。已知在酸性条件下， IO_3^- 会和 I^- 发生如下反应： $IO_3^- + 5I^- + 6H^+ = 3I_2 + 3H_2O$ 。根据该反应，我们可以用试纸和生活中常见的物质检验加碘盐中碘的存在。

实验可选用的物质有：自来水、碘化钾淀粉试纸、白糖、白醋、白酒。

请根据以上信息，设计实验方案，检验加碘盐中碘的存在。

碘 (iodine) 是人体必需的微量元素，是维持人体甲状腺正常功能所必需的元素。当人体缺碘时就会患甲状腺肿大，人们主要从饮水、粮食、蔬菜和周围环境中获取碘。多食海带、海鱼等含碘丰富的食品，对于防治甲状腺肿大很有效。在我国缺碘地区，人们主要通过食用加碘盐来补充碘元素。我国从1994年开始推行全民食用加碘盐工程，目前规定每千克加碘盐中含碘量为20~30 mg，对抑制碘缺乏病成效显著。但值得注意的是，成年人每日需要的碘的量是一定的，食用过多的碘盐或含碘食品，反而会导致体内碘含量过高，对健康不利。



调查研究

碘与人体健康息息相关。调查身边的人是通过何种途径摄入碘元素的。如果碘摄入过多，容易产生什么后果？

除了海水中富含大量的资源外，海底矿产资源也非常丰富。海底矿产资源主要包括浅海矿产资源和深海矿产资源。浅海海底的矿产资源是指大陆架和部分大陆斜坡处的矿产资源，主要是石油与天然气和各类滨海沙矿，近年来还发现了极富发展前景的天然气水合物。海底矿产资源包括多金属结核矿、海底多金属硫化物矿床和磷钙土矿等，这些矿石中富含大量的金属元素。

拓展视野

丰富的海底资源

海底蕴含大量的金属矿产和天然气水合物，是宝贵的自然资源，也是人类共同的财富。在水深4 000~6 000 m的海底，富含铜、镍、钴、锰等金属的多金属结核矿，约有3万亿吨，其中锰的储量可供全世界使用18 000年，镍可使用25 000年。发现于大陆边缘的天然气水合物，其总储量换算成甲烷气体为 $1.8 \times 10^{16} \sim 2.1 \times 10^{16} \text{ m}^3$ ，大约相当于全世界陆地已探明的煤、石油和天然气总储量的两倍，潜力巨大，被视为21世纪新型绿色能源。

中国有辽阔的海域和大陆架，渤海、黄海、东海和南海水深低于200米的大陆架面积为100多万平方千米。2017年探明，我国在临近各海域的油气储藏量约40~50亿吨。此外，我国也是世界上滨海沙矿种类最多的国家之一。

21世纪被称为海洋经济时代。我国的海域面积很大，目前对海洋资源的开发主要局限在浅水区，开发的规模有限，开发利用的水平也不高，不少资源的开发尚处于技术研究和试验阶段，我们要不断增强保护和合理利用海洋资源的意识。

理解应用

- 海水是一个巨大的化学资源宝库。下列有关海水综合利用的说法中，正确的是（ ）
 - 从海水中可以获得NaCl，电解NaCl溶液可制备金属钠
 - 从海水中提取溴的过程中利用了氧化还原反应原理
 - 海水中含有镁元素，只需经过物理变化就可以得到镁单质
 - 目前工业上可直接从海水中提取 I_2
- 碘缺乏病是目前已知的导致人类智力障碍的主要原因。为解决这一问题，我国已经开始实施“智力工程”，最经济可行的措施是（ ）
 - 食盐加碘
 - 面包加碘
 - 大量食用海带
 - 注射含碘药剂

3. 某工厂采用如下步骤从海水中提取镁：① 把贝壳制成石灰乳；② 在引入的海水中加入石灰乳，沉降，过滤，洗涤；③ 将沉淀物与盐酸反应，蒸发结晶，过滤，得到含结晶水的晶体；④ 将所得晶体在一定条件下加热得到无水氯化镁；⑤ 电解熔融氯化镁，得到金属镁。

(1) 请写出①⑤中发生反应的化学方程式。

(2) 在以上提取镁的过程中，没有涉及的化学反应类型是_____ (填字母)。

A. 分解反应 B. 化合反应 C. 复分解反应 D. 置换反应

(3) 已知海水中镁的含量为 $1.29 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ，每生产 1.00 t 镁，至少需要引入多少体积的海水？

4. 有四瓶无色溶液，分别是 NaCl 、 NaBr 、 KBr 、 KI 溶液，请根据有关物质的性质，设计实验将其区分开来。

实验步骤	实验现象	结论

5. 某同学为检验海带中是否含有碘元素，拟进行如下实验，请完成相关问题。

(1) 第1步：灼烧。将足量海带灼烧成灰烬，该过程中不会用到的实验仪器有_____ (填字母，下同)。

A. 试管 B. 瓷坩埚 C. 坩埚钳 D. 铁三脚架
E. 泥三角 F. 酒精灯 G. 烧杯 H. 量筒

(2) 第2步：I⁻溶液的获取。操作是_____。

(3) 第3步：氧化。下列氧化剂中，最好选用_____。

A. 浓硫酸 B. 新制氯水 C. 酸性 KMnO_4 溶液 D. H_2O_2

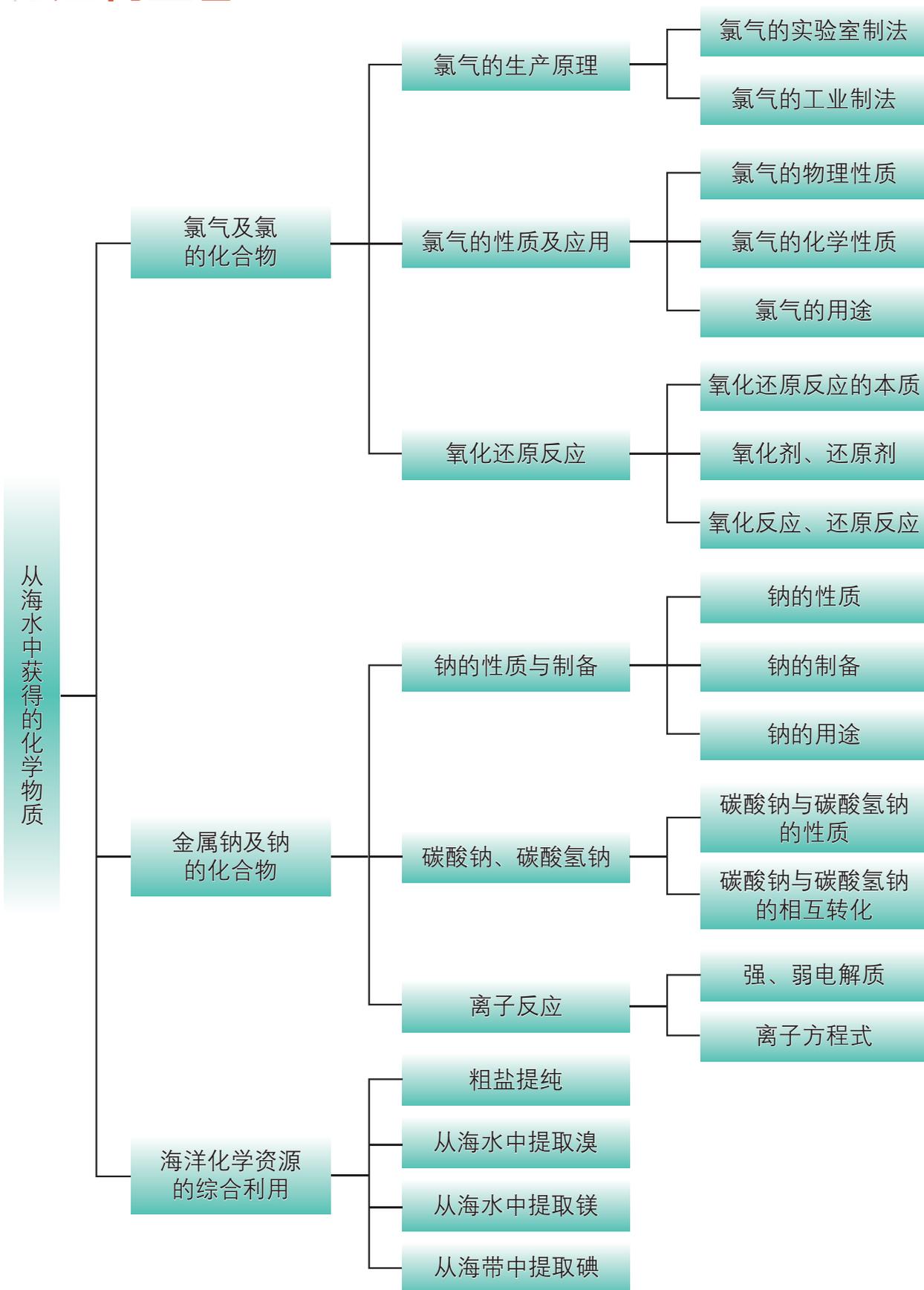
理由是_____。

(4) 第4步：碘单质的检验。取少量第3步的溶液，滴加淀粉溶液，如果溶液显蓝色，则证明海带中含有碘元素。

6. 查阅资料，了解世界各国尤其我国是如何开发和利用各种海底资源的。

7. 每个沿海国家都非常重视海洋权益。我国是一个海洋大国，请谈谈你对我国维护海洋权益的认识。

建构整合



回顾与总结

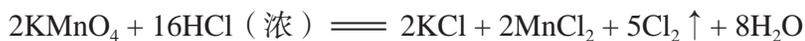
请参照下列问题或线索，回顾和总结本专题的学习内容。

- ✓ 如何从海水中获取氯化钠？为什么说氯化钠是工业生产中不可缺少的原料？
- ✓ 实验室用什么方法制取氯气？写出化学方程式。
- ✓ 工业上常用什么方法制取氯气？写出化学方程式。
- ✓ 氯气有哪些重要的化学性质？在生产、生活中有哪些应用？
- ✓ 你知道漂白粉的组成吗？工业上是如何制取漂白粉的？漂白粉在空气中会发生什么变化？
- ✓ 氧化还原反应的本质是什么？举例说明什么是氧化剂，什么是还原剂。
- ✓ 金属钠具有哪些重要的化学性质？请写出相关反应的化学方程式。
- ✓ 碳酸钠和碳酸氢钠主要有哪些性质？在生产、生活中有何应用？
- ✓ 如何实现碳酸钠和碳酸氢钠之间的转化？写出化学方程式。
- ✓ 如何区分碳酸钠和碳酸氢钠固体？
- ✓ 举例说明强电解质和弱电解质的区别。
- ✓ 如何书写强电解质与弱电解质的电离方程式？
- ✓ 离子方程式与化学方程式的意义有何不同？举例说明书写离子方程式的一般步骤。
- ✓ 工业上是如何进行粗盐提纯的？
- ✓ 从海水中提取溴单质的反应原理是什么？
- ✓ 说明从海水中提取镁的反应原理和工艺流程。
- ✓ 说明从海带中提取碘的工业生产过程。
- ✓ 举例说明溴、镁、碘的重要应用。

综合评价

1. 化学在自然资源的开发和利用中具有重要意义。下列说法中错误的是 ()
 - A. 利用化学知识和化学规律, 人们可以更好地开发和利用资源
 - B. 利用化学知识和化学规律, 人们可以制取更多的物质, 丰富物质世界
 - C. 在开发和利用资源时, 化学无法解决对环境造成的污染
 - D. 在开发和利用资源的过程中, 凸显了化学对社会可持续发展的贡献
2. 下列说法中正确的是 ()
 - A. 难溶于水的电解质一定是弱电解质
 - B. 易溶于水的电解质一定是强电解质
 - C. 强电解质溶液的导电能力一定比弱电解质溶液强
 - D. 强、弱电解质的本质区别是在水溶液中能否全部电离成离子
3. 下列反应中, 不能用离子方程式 $\text{Ba}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} = \text{BaSO}_4 \downarrow$ 表示的是 ()
 - A. 稀硫酸与硝酸钡溶液反应
 - B. 硫酸钾溶液与氯化钡溶液反应
 - C. 稀硫酸与氢氧化钡溶液反应
 - D. 硫酸钠溶液与硝酸钡溶液反应
4. ClO_2 是一种广谱型的消毒剂。根据世界环保联盟的要求, ClO_2 将逐渐取代 Cl_2 成为生产自来水的消毒剂。工业上常用 NaClO_3 和 Na_2SO_3 的混合溶液加硫酸酸化制取 ClO_2 。在以上反应中, NaClO_3 和 Na_2SO_3 的物质的量之比是 ()
 - A. 1 : 1
 - B. 2 : 1
 - C. 1 : 2
 - D. 2 : 3
5. 实验室有一包白色固体, 可能含有 Na_2CO_3 、 NaHCO_3 和 NaCl 中的一种或多种。下列根据实验事实得出的结论中, 正确的是 ()
 - A. 取一定量固体, 溶解, 向溶液中通入足量的 CO_2 , 观察到有晶体析出, 说明原固体中一定含有 Na_2CO_3
 - B. 取一定量固体, 溶解, 向溶液中加入适量 CaO 粉末, 充分反应后观察到有白色沉淀生成, 说明原固体中一定含有 Na_2CO_3
 - C. 取一定量固体, 溶解, 向溶液中滴加适量 AgNO_3 溶液, 观察到有白色沉淀生成, 说明原固体中一定含有 NaCl
 - D. 称取3.80 g固体, 加热至恒重, 质量减少了0.620 g。用足量稀盐酸溶解残留固体, 充分反应后, 收集到0.880 g气体, 说明原固体中仅含有 Na_2CO_3 和 NaHCO_3

6. 实验室可以用高锰酸钾和浓盐酸反应制取氯气，反应的化学方程式如下：



当有 0.1 mol 电子发生转移时，理论上生成氯气的体积（标准状况）为_____，发生反应的 KMnO_4 的质量为_____。

7. 将鸡蛋壳（主要成分为碳酸钙）放在食醋（主要成分为醋酸）中后，鸡蛋壳表面会产生气泡。该反应的离子方程式为_____。

8. (1) 已知反应： $\text{Zn} + 2\text{HNO}_3 + \text{NH}_4\text{NO}_3 \rightleftharpoons \text{N}_2 \uparrow + \text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + 3\text{H}_2\text{O}$ 。

①该反应中的还原剂为_____（写化学式）。

②若产生的 N_2 在标准状况下的体积为 2.24 L，则反应中转移的电子数为_____。

(2) 某液体化合物 X_2Y_4 ，常用作火箭燃料。16 g X_2Y_4 在一定量的 O_2 中恰好完全燃烧，反应的化学方程式为 $\text{X}_2\text{Y}_4 + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{X}_2 + 2\text{Y}_2\text{O}$ ， Y_2O 是一种常见的液态化合物，冷却后测得生成气体的体积为 11.2 L（标准状况）。则：

①反应前 O_2 的体积 $V(\text{O}_2)$ 为_____。

② X_2 的摩尔质量为_____。

③若反应生成 0.1 mol X_2 ，则转移电子的物质的量为_____。

9. 在加热条件下，用 MnO_2 与足量浓盐酸反应，制得氯气 0.56 L（标准状况）。

(1) 理论上需要消耗 MnO_2 的质量为多少？

(2) 被氧化的 HCl 的物质的量为多少？

10. (1) 碳酸氢钠是一种酸式盐，既可以与酸反应，又可以与碱反应。请写出碳酸氢钠溶液分别与盐酸和氢氧化钠溶液反应的离子方程式。（提示：碳酸氢钠溶液与氢氧化钠溶液反应生成碳酸钠和水）

(2) 少量碳酸钠溶液与足量盐酸反应，有二氧化碳放出；而少量稀盐酸缓慢滴入过量碳酸钠溶液中，无气体放出。请写出上述过程中发生反应的离子方程式。

11. 用一定量的硫酸溶液进行导电性实验，发现灯泡较亮。若向溶液中逐滴加入氢氧化钡溶液，发现灯泡亮度先逐渐变暗，后又逐渐变亮。请解释出现此现象的原因。

12. 现有某碳酸钠和碳酸氢钠的混合物样品，请设计两种实验方案测定其中碳酸钠的质量分数。

13. 查阅资料，写一篇关于海洋化学资源综合利用的小论文。



专题

4

硫与环境保护



含硫化合物的性质

硫及其化合物的相互转化

防治二氧化硫对环境的污染



天然的含硫温泉、人工制造的硫黄香皂，我国古代发明的黑火药、现代重要的化工产品硫酸，这些物质中都含有硫元素。硫及其化合物在生产、生活和科学研究中有着广泛的应用。硫及其化合物的相互转化，直接或间接地影响着人类赖以生存的环境。认识含硫化合物的性质及转化规律，能帮助我们更好地认识自然和保护环境。



第一单元 含硫化合物的性质

自然界中硫元素有游离态和化合态两种存在形式。自然界中的单质硫通常是黄色或淡黄色的固体，故又俗称硫黄，在火山喷口的岩层中往往容易见到。单质硫质脆，易研成粉末，密度比水大，难溶于水，易溶于 CS_2 。化合态的硫主要存在于硫化物和硫酸盐中，火山喷出物中还含有硫的氢化物和氧化物等。化石燃料石油、煤中也存在硫元素，化石燃料燃烧能放出少量的二氧化硫气体。

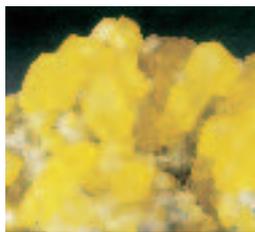


图 4-1 单质硫



图 4-2 硫化汞

人类对含硫化合物的发现和应用已有悠久的历史，我国炼丹术史料中记载有“丹砂烧之成水银，积变又还成丹砂”，丹砂便是红色的硫化汞。我国古代四大发明之一的黑火药就是由硫黄等为原料配制而成的。



目标预览

通过本单元内容的学习，要求同学们努力达到：

以含硫化合物的性质和转化为例，对物质性质和变化作出解释和预测，能运用化学变化规律分析元素及其化合物在生产、生活中的应用；能辩证地分析化学品对人类生活和环境的影响，初步形成风险评估的意识；认识化学工业与人类生活、社会可持续发展的关系。

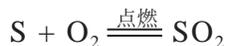
二氧化硫的性质和应用



温故知新

硫粉在氧气中燃烧产生什么现象？生成什么物质？

硫单质在氧气中剧烈燃烧，发出明亮的蓝紫色火焰，产物是二氧化硫。



4 000多年前，古埃及人就用硫燃烧后产生的二氧化硫来处理布匹；公元前9世纪，古希腊人和古罗马人用二氧化硫来消毒和漂白。二氧化硫还具有哪些性质？在生产、生活中又扮演着怎样的角色呢？

二氧化硫（sulfur dioxide）是一种无色、有刺激性气味的气体，其密度大于空气，易溶于水。吸入二氧化硫对人体有害。二氧化硫属于酸性氧化物，化学性质较为活泼，通常表现出较强的还原性。



二氧化硫的性质

基础实验



二氧化硫有什么样的性质？下列实验可以帮助我们进行研究，请将实验现象及结论填入表4-1。

【实验1】用充有80 mL二氧化硫的针筒吸入10 mL蒸馏水，用橡皮塞堵住针筒的前端，振荡，观察针筒内气体体积的变化，然后用pH试纸测定二氧化硫水溶液的pH。

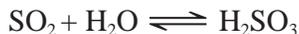
【实验2】向试管中加入5 mL二氧化硫水溶液，滴加几滴氯化钡溶液，观察现象；再向试管中滴加5 mL 3%的过氧化氢溶液，振荡，放置片刻后滴加几滴稀盐酸，观察实验现象。

【实验3】向试管中加入5 mL二氧化硫水溶液，滴加几滴品红溶液，振荡，然后加热试管，观察加热前后溶液颜色的变化。

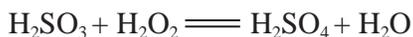
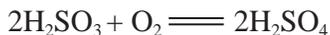
表 4-1 二氧化硫的性质实验

实验序号	实验现象	结论
实验1		
实验2		
实验3		

二氧化硫溶于水时部分与水反应生成亚硫酸。



亚硫酸是一种弱酸，容易被氧化剂（如氧气、过氧化氢等）氧化，生成硫酸。



在上述反应中，亚硫酸被氧化成硫酸，硫元素由+4价变为+6价，体现了亚硫酸的还原性。同样，二氧化硫也具有还原性，可以被某些氧化剂氧化。

实验中还发现，二氧化硫能漂白某些有色物质（如品红），而加热后又恢复原来的颜色。这是因为二氧化硫能与某些有色物质发生化合反应，生成无色物质，但这些无色物质不稳定，受热条件下会分解而恢复原来的颜色。在工业上，二氧化硫常被用于漂白纸浆以及草编织物等。



生活向导

二氧化硫作为食品添加剂

在严格控制用量的情况下，二氧化硫可被添加到食品中作为漂白剂、防腐剂和抗氧化剂。

在制备食糖的过程中，用二氧化硫对糖汁进行熏制，可使其脱色。当葡萄酒酿好后，通入二氧化硫可以抑制细菌生长，延长保存时间。在制作干果时往往也加入二氧化硫，起抗氧化的作用。

表 4-2 国家食品添加剂使用标准中二氧化硫最大使用量

食品名称	食糖	葡萄酒	水果干类
SO ₂ 最大使用量	0.1 g·kg ⁻¹	0.25 g·L ⁻¹	0.1 g·kg ⁻¹

实际上，无论是二氧化硫还是其他食品添加剂，只要在允许范围内合理使用，就能保证安全无害。

硫酸的工业制备

硫酸 (sulfuric acid) 是当今世界上最重要的化工产品之一。早在1000多年前,我国就已采用加热胆矾 ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 或绿矾 ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 的方法来制取硫酸。随着生产力的发展,硫酸的生产工艺几经改进,目前工业制备硫酸主要采用接触法,以硫铁矿或硫黄为原料制备硫酸。

以硫铁矿 (FeS_2) 为原料制备硫酸的主要设备和流程如下图。

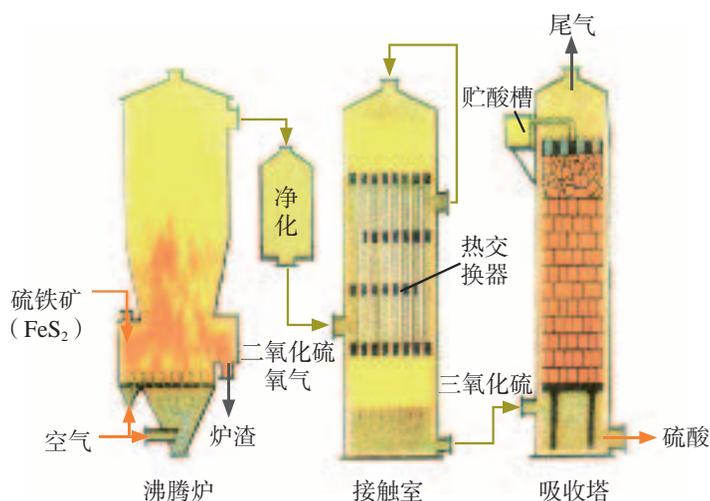


图 4-3 硫酸工业主要设备与流程

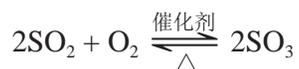
交流讨论

从上述制备硫酸的装置设备和流程中,你能发现硫酸制备有哪些特殊的工艺要求? 接触室中的热交换器起什么作用?

原料硫铁矿经过粉碎后投入沸腾炉中,通入空气,硫铁矿和氧气在高温条件下充分混合发生反应,放出大量的热。

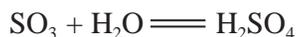


由于硫铁矿中含有杂质,因此沸腾炉中反应产生的气体需要经过除尘净化后方可通入接触室。二氧化硫在加热、催化剂作用下在接触室中被氧化为三氧化硫 (sulfur trioxide)。



上述反应的条件通常在常压、450℃左右，用五氧化二钒（ V_2O_5 ）作催化剂。反应放出大量的热，接触室中安装热交换器，可以充分利用这部分热量来预热进入接触室的二氧化硫与氧气的混合气体，同时冷却反应后生成的三氧化硫。

在吸收塔中，用98.3%的浓硫酸吸收三氧化硫，再稀释成不同浓度的工业产品。不用水吸收三氧化硫，是为了防止 SO_3 溶于水时反应放出大量热导致酸雾，降低吸收效率。



工业生产得到的硫酸一般都是质量分数大于92%的浓硫酸，实际使用时可以根据需要稀释成不同浓度的硫酸。稀硫酸中的 H_2SO_4 电离成 H^+ 和 SO_4^{2-} ，因此稀硫酸具有酸的通性。浓硫酸含水量很低，主要以 H_2SO_4 分子形式存在，因而浓硫酸具有一些独特的性质。



选择决策

由于工业战略发展的需要，某地区打算建厂制备硫酸，项目负责人员正在考虑采用硫黄制酸还是硫铁矿制酸。如果你是负责人，你会收集哪些资料作为依据进行选择？

硫铁矿中 FeS_2 的质量分数一般为20%~50%，制酸工艺过程中所产生的矿渣和废气使生产装置变得较为复杂。而采用硫黄制酸法，工艺流程和设备相对简易。硫黄含杂质少，燃烧生成的气体含杂质少，可免去气体净化的过程，制备过程也不产生矿渣。因此，硫铁矿制酸设备投资几乎是同等规模硫黄制酸设备的两倍。但硫黄原料价格高于硫铁矿，具体选用何种硫酸制备工艺，应根据实际条件和要求进行决策。



方法导引

化学工业制备的要求

1. 原料廉价且稳定，最好能结合本地地理环境的优势资源，以降低运输成本。
2. 从环保、成本等角度选择合适的化学反应，设计合理的反应装置，对原料进行粉碎等预处理，使得原料尽可能地被富集，保证在反应中能充分接触。
3. 制备流程简单高效，能耗低，反应放出的热量和剩余物质尽可能加以循环利用，生成的副产物较少。
4. 制备过程绿色环保，没有使用或生成对环境有害的物质，若有，须对有害物质进行无害化处理。

浓硫酸的性质

实验室常用的浓硫酸质量分数为98.3%，密度大（ $1.84 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ），沸点高，难挥发，常温下比较稳定。浓硫酸具有吸水性、脱水性和强氧化性，腐蚀性很强，能破坏动、植物组织，在实验室使用时必须小心谨慎。

观察思考

观察下列实验，完成表4-3，分析并归纳浓硫酸的性质。

【实验1】向表面皿中加入少量胆矾，再加入约3 mL浓硫酸，搅拌，观察实验现象。

【实验2】取2 g蔗糖（ $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ）放入大试管中，加2~3滴水，再加入约3 mL浓硫酸，迅速搅拌，然后塞紧带玻璃导管的橡皮塞，将玻璃导管的另一端插入盛有品红溶液的试管中，观察实验现象。

【实验3】将一小片铜片放入试管中，然后加入2 mL浓硫酸，用如图4-4所示的实验装置进行实验，观察实验现象。

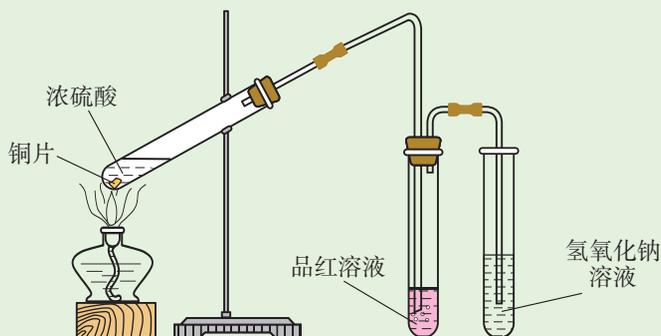


图 4-4 铜与浓硫酸反应的装置图

表 4-3 浓硫酸的性质实验

实验序号	实验现象	结论
实验1		
实验2		
实验3		

浓硫酸具有**吸水性**，能够吸收空气或其他物质中的水分，常被用作干燥剂。浓硫酸也能按照水的组成比，夺取某些有机物中的氢、氧元素形成水分子，可使蔗糖、纤维素等物质脱水，这种性质叫**脱水性**。

浓硫酸能与绝大多数金属发生反应，在加热时表现出更强的氧化性。在常温下，铁、铝等少数金属遇浓硫酸会发生钝化（passivation）。浓硫酸还可以与一些非金属及某些化合物反应。浓硫酸在化学反应中常作氧化剂。



学以致用

试回答以下问题：

1. 指出上述两个反应中的氧化剂、还原剂，分析元素价态变化。
2. 在化学实验中，经常利用浓硫酸作为干燥剂，试解释其原因。对被干燥的物质而言，有何要求？
3. 为什么可将浓硫酸装在钢罐中运输？

浓硫酸在生产、生活和科学研究中有着广泛的应用。化肥、医药、农药的生产，金属矿石的处理，金属材料的表面清洗等都要用到硫酸。

硫酸盐和硫酸盐矿物也是化工生产、药物和颜料制备中的重要原料。



拓展视野

几种重要的硫酸盐

硫酸钙 自然界中的硫酸钙（calcium sulfate）以石膏矿的形式存在，常见的有石膏（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ，也称生石膏）和熟石膏（ $2\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ）。将石膏加热到 $150\text{ }^\circ\text{C}$ ，它就会失去大部分结晶水而变成熟石膏；熟石膏与水混合成糊状后会很快凝固，转化为坚硬的石膏。利用石膏的这一性质，人们常用它制作各种模型和医疗上用的石膏绷带。在水泥生产中，可用石膏调节水泥的凝结时间。在石膏资源丰富的地方也可以用它来制备硫酸。



图 4-5 针状的石膏晶体

硫酸钡 天然的硫酸钡 (barium sulfate) 称为重晶石 (barite), 它是制备其他钡盐的重要原料。硫酸钡不溶于酸, 也不容易被X射线透过, 在医疗上可用作检查肠胃的内服药剂, 俗称钡餐。硫酸钡还可用作白色颜料, 并可作高档油漆、油墨、造纸、塑料、橡胶的原料及填充剂。

硫酸亚铁 硫酸亚铁 (ferrous sulfate) 的结晶水合物俗称绿矾, 其化学式为 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 。在医疗上, 硫酸亚铁可用于生产防治缺铁性贫血的药剂; 在工业上, 硫酸亚铁是生产铁系列净水剂和颜料氧化铁红 (主要成分为 Fe_2O_3) 的原料。



图 4-6 重晶石晶体



图 4-7 绿矾晶体

理解应用

- 下列有关二氧化硫的说法中, 错误的是 ()
 - 实验室可用氢氧化钠溶液吸收二氧化硫
 - 二氧化硫水溶液能使紫色石蕊试液变红, 说明二氧化硫水溶液呈酸性
 - 二氧化硫能使酸性高锰酸钾溶液褪色, 说明二氧化硫具有还原性
 - 二氧化硫能漂白某些物质, 说明它具有氧化性
- 下列关于浓硫酸和稀硫酸的叙述中, 正确的是 ()
 - 都具有强氧化性
 - 加热时都能与铜发生反应
 - 都能作为气体干燥剂
 - 一定条件下都能与铁反应
- 写出以硫黄为原料生产硫酸过程中发生的主要反应的化学方程式。
- 二氧化硫的漂白原理与氯水的漂白原理有何不同?
- 实验室可以用硫酸和亚硫酸钠反应来制备二氧化硫。写出反应的化学方程式, 并画出制备和收集二氧化硫气体的实验装置简图。
- 实验室中能否用浓硫酸干燥 Cl_2 、 CO_2 、 NH_3 三种气体? 试说明理由。
- 通过下列反应可以得到硫酸铜, 请写出下列反应的化学方程式。
 - 铜与浓硫酸反应直接生成硫酸铜。
 - 向铜与稀硫酸的混合物中通入氧气, 反应生成硫酸铜。
 能否利用这两种反应制备硫酸铜晶体? 试说明理由。

第二单元 硫及其化合物的相互转化

自然界中的硫元素主要以硫单质、硫化物和硫酸盐等形式存在。利用硫及其化合物的性质可以实现不同的含硫物质间的相互转化。这些转化应遵循哪些基本规则？需要什么条件？往往需要进行具体的分析。



目标预览

通过本单元内容的学习，要求同学们努力达到：

以硫及其化合物为例，利用不同类型化学反应的知识，研究物质之间相互转化的规律，能设计物质转化的方案；能说明氧化还原反应的本质特征，认识同一元素不同化合物之间转化的一般规律。

含硫物质之间的转化



温故知新

从海水晒盐得到氯化钠，电解氯化钠饱和溶液制得氯气，以氯气为原料可制备一系列氯的化合物。请说明上述过程中含氯物质中氯元素的化合价是如何变化的。

与含氯物质一样，含硫物质也多种多样，它们在一定条件下可以相互转化。通过氧化还原反应，可以实现不同价态含硫物质之间的转化。例如，单质硫可以被金属还原为硫化物，硫的化合价由0价变为-2价；单质硫也可以被氧化为二氧化硫，硫的化合价由0价变为+4价。

通过非氧化还原反应，可以实现相同价态含硫物质之间的转化。例如，含有+4价硫的二氧化硫、亚硫酸和亚硫酸盐之间可以通过非氧化还原反应相互转化。

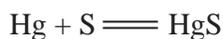
学以致用

请写出下列含硫物质之间发生转化的化学方程式。

1. 在常温下，硫单质能与汞化合生成硫化汞（HgS）。因此，为了除去不慎洒落的汞，人们常将硫黄粉撒在汞的表面。
2. 长期暴露在空气中的亚硫酸钠会慢慢变成硫酸钠。
3. 实验室中用过量氢氧化钠溶液吸收二氧化硫生成亚硫酸钠。

不同价态的含硫物质之间能否转化，与反应物的性质、反应条件等因素有关。例如，二氧化硫与氧气在常温下很难转化为三氧化硫，需要在有催化剂和一定温度条件下才能实现。

硫单质能与汞在常温下化合生成硫化汞，但硫粉与铁粉必须在加热条件下才能化合生成硫化亚铁。



同一元素不同物质之间的转化

研究含有同一元素的不同物质之间的转化，通常将这些物质按该元素化合价的高低进行排序和分类。以硫元素为例：

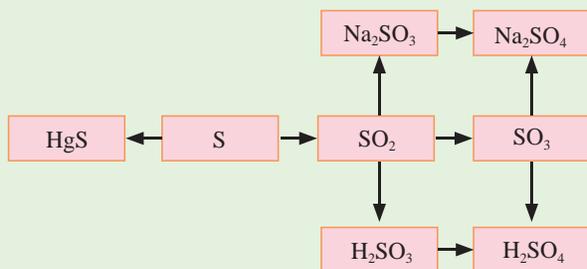


图 4-8 硫及其化合物之间的相互转化

上述物质之间的转化可以通过不同的化学反应来实现。可以是元素化合价发生改变的氧化还原反应（对应图中横向箭头表示的转化），也可以是元素化合价不变的非氧化还原反应（对应图中纵向箭头表示的转化）。

学科提炼

氧化还原反应方程式的配平

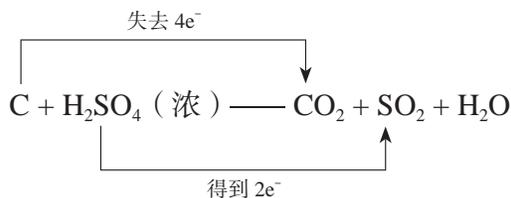
氧化还原反应中发生了电子转移，表现为某些元素化合价的变化。反应过程中电子不会凭空产生或消失，所以氧化还原反应中得失电子总数一定相等。我们可以利用这一关系来配平氧化还原反应方程式。

以碳和浓硫酸反应生成二氧化碳、二氧化硫和水为例，化学方程式的配平步骤如下：

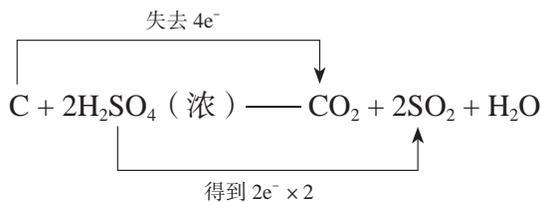
1. 写出反应物、生成物的化学式。在化学方程式中标出化合价发生变化的元素的化合价。



2. 根据化合价的变化标出电子转移的方向和数目。



3. 使得失电子的总数相等。



4. 根据质量守恒定律配平其他物质的化学计量数，并添加气体符号，注明反应条件，将单线改为双线。



学以致用

请完成下列化学方程式的书写并配平。

1. 二氧化硫和硫化氢 (H_2S) 气体混合，反应生成硫和水。
2. 二氧化硫和氯气同时通入少量水中，反应生成硫酸和盐酸。

硫元素的常见化合价有-2、0、+4和+6等。其中，-2价的硫在氧化还原反应中只能被氧化，化合价升高；+6价的硫在氧化还原反应中只能被还原，化合价降低；而中间的0价和+4价的硫

既可以被氧化，又可以被还原。一般来说，可根据物质中某元素的化合价，以及与之反应的物质，来预测氧化还原反应的可能产物。

氧化剂和还原剂的判断

学科提炼



有多种价态的元素，其高价态的化合物可能具有氧化性，如浓硫酸、氯酸钾等，在氧化还原反应中可作氧化剂；其低价态的化合物可能具有还原性，如碘化钾、硫化氢等，在氧化还原反应中可作还原剂；其中间价态的化合物，在不同的化学反应中可能表现出氧化性，也可能表现出还原性，如二氧化硫等。

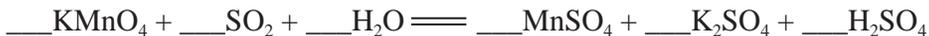
理解应用

- 下列反应中，反应物中的硫元素表现出氧化性的是（ ）
 - 稀硫酸与锌粒反应
 - 二氧化硫与氧气反应
 - 浓硫酸与铜反应
 - 三氧化硫与水反应

- 下列反应中， SO_2 作氧化剂的是（ ）

- $\text{SO}_2 + \text{NO}_2 \rightleftharpoons \text{SO}_3 + \text{NO}$
- $\text{SO}_2 + \text{Br}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{HBr}$
- $\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{S} \rightleftharpoons 3\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$
- $\text{SO}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{NaHSO}_3$

- 配平下列氧化还原反应方程式。



- 油画的白色颜料中含有 PbSO_4 ，久置后会变成 PbS 而使油画变黑，如果用双氧水（ H_2O_2 ）擦拭则可恢复原貌。试写出用双氧水擦拭所发生反应的化学方程式。

5. 二氧化硫与氢氧化钠反应的产物与二氧化硫的量有关。当二氧化硫过量时，生成亚硫酸氢钠；当二氧化硫不足时，则生成亚硫酸钠。请写出上述反应的化学方程式。

6. 某硫酸厂每天排放 $1.0 \times 10^4 \text{ m}^3$ （标准状况）尾气，其中含0.2%（体积分数）的 SO_2 。现用氢氧化钠浓度为 $1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的废碱液进行处理，每天至少需要这种废碱液多少升？

第三单元 防治二氧化硫对环境的污染

为了保护环境和推进社会的可持续发展，在自然资源的开发和利用中需要严格控制有毒、有害物质的排放，防治环境污染。含硫化石燃料燃烧、含硫金属矿石冶炼和硫酸生产过程中均会产生一定量含二氧化硫的废气，若直接排放到空气中，会导致严重的环境问题。因此，需要研究如何利用二氧化硫的性质和含硫物质相互转化的规律，以更有效地防治二氧化硫对环境的污染。



目标预览

通过本单元内容的学习，要求同学们努力达到：

能运用所学知识分析化学过程对社会可持续发展带来的影响，关心并能主动参与有关的社会性议题的讨论；树立风险评估和环境保护的意识，形成正确的化学价值观。

自然界中的硫循环

地壳的岩石里、生物体内以及大气与水体中都含有硫元素。随着地壳运动、生命活动以及大气与水的流动，这些含硫物质不断地发生转化和转移，形成了硫在自然界中的循环。

地壳中的硫黄矿、硫铁矿和煤等都含有硫元素，这些矿物通过风化分解、燃烧、火山爆发等方式释放出 SO_2 、 H_2S 等气体，这些气体有些进入大气，有些转化为亚硫酸盐、硫酸盐溶入河流或海洋，还有些则被土壤中的硫化细菌吸收。大气中的 SO_2 还可以被银杏、夹竹桃等植物吸收，而水体中的硫化合物可被浮游植物吸收、利用。硫元素可随着食物链从植物传递到动物体内，植物残体和动物的尸体、粪便等经细菌的分解，其中的硫元素又转移到土壤、水体和大气中（图4-9）。

世界各国在工业化进程中大量使用化石燃料，导致 SO_2 过度排放，影响了自然界中硫的循环，造成了酸雨、土壤酸化等环境问题，留下了许多惨痛的教训。这是全球可持续发展中人类必须共同应对和解决的问题。

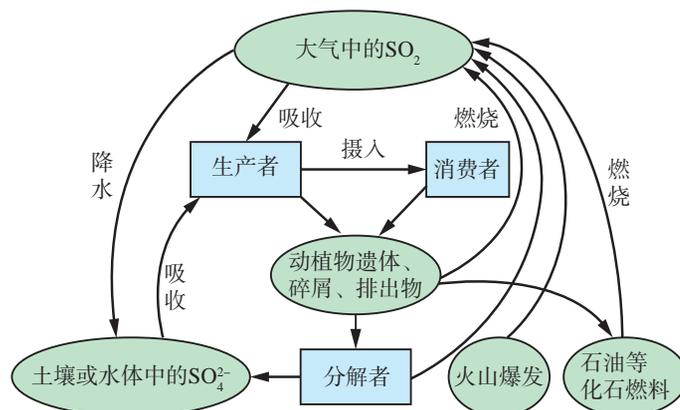


图 4-9 自然界中的硫循环示意图

酸雨及其治理

在历史上，人类社会曾出现过几次严重的酸雨（acid rain）事件。像伦敦、洛杉矶等地都曾是酸雨的重灾区，许多市民患病甚至死亡，建筑物被腐蚀，河流湖泊也受到污染。多年来，发达国家致力于治理酸雨，环境质量已得到了显著的改善。目前，我国是世界三大酸雨区之一，治理酸雨对我国的可持续发展有着重大意义。



图 4-10 植物枯黄



图 4-11 树木凋零



图 4-12 被腐蚀的大佛雕像

空气中的二氧化硫被降水吸收，生成亚硫酸，亚硫酸被氧化为硫酸，形成硫酸型酸雨。此外，空气中的二氧化硫在光照和烟尘中的金属氧化物等的作用下也可被氧化成三氧化硫，三氧化硫溶于水生成的硫酸随雨水降落，形成硫酸型酸雨。酸雨的pH小于5.6，对环境造成多方面的危害。酸雨流入江河湖泊，导致鱼类难以生存，影响水生生物的繁殖；酸雨渗透至土壤中，使土壤中钙、镁、磷等营养元素溶出而流失，导致土壤肥力下降，植被遭到破坏，危害农作物生长；酸雨还能加快桥梁、雕塑等建筑物的腐蚀，许多文物古迹因此遭到严重破坏。

治理硫酸型酸雨，关键在于减少二氧化硫的排放。一种途径是开发能替代化石燃料的新能源（如氢能、太阳能、核能等），减少化石燃料的使用；另一种途径是对含硫燃料预先进行脱硫处理，减少二氧化硫的排放，并对生产中产生的二氧化硫废气进行处理或回收利用。例如，用碱液来吸收燃煤和工业生产中排放的二氧化硫废气。



选择决策

(1) 如何处理浓硫酸与铜反应的实验中生成的二氧化硫尾气?

(2) 工业上从生产成本角度考虑, 如何从下表中选择吸收二氧化硫废气的工业用碱?

表 4-4 几种工业用碱的市场参考价格

常见工业用碱	价格/(元·吨 ⁻¹)
烧碱 (NaOH)	1 000~1 500
浓氨水 (NH ₃ ·H ₂ O)	800~1 100
生石灰 (CaO)	230~500
熟石灰 [Ca(OH) ₂]	250~800

实验室中通常用烧碱溶液来吸收二氧化硫, 但在工业生产中往往使用较为廉价的碱性物质, 如熟石灰、生石灰或浓氨水。它们可以将二氧化硫转化为亚硫酸盐溶液, 避免二氧化硫直接排放到空气中, 再将得到的亚硫酸盐进一步氧化成硫酸盐, 通过结晶等方式回收利用得到的硫酸盐。近年来, 一些发达国家近海的煤电厂, 利用海水的微碱性 ($8.0 \leq \text{pH} \leq 8.3$), 开发出海水脱硫的新工艺, 其关键步骤是用海水吸收除去烟气中的二氧化硫。这一方法工艺简单, 节约了大量的资源, 但对海洋环境的影响尚需进一步评估。

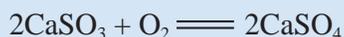


拓展视野

含二氧化硫烟气的脱硫

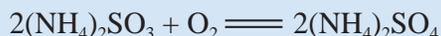
1. 石灰石-石膏法

该工艺原理是, 将石灰石粉末加水制成浆液作为吸收剂泵入吸收塔, 与烟气充分接触混合并氧化, 最终生成石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)。脱硫后的烟气经过除雾器除去雾滴, 再经过换热器加热升温后, 由烟囱排入大气。其化学方程式如下:



2. 氨脱硫法

氨脱硫法是一个酸碱中和反应和氧化还原反应相结合的过程，在脱硫塔内气、液、固多组分混合。其化学方程式如下：



空气质量评价

随着工业化、城市化的推进，环境问题日益引起人们的关注，其中空气污染就是一个焦点问题。人们可以通过空气质量指数AQI（Air Quality Index）来获取空气质量状况的信息。空气质量指数是根据空气中的细颗粒物（PM_{2.5}）、可吸入颗粒物（PM₁₀）、二氧化硫、二氧化氮、臭氧和一氧化碳的浓度计算出来的数值。空气质量指数越小，空气质量越好，对人体健康的危害就越小。

跨学科链接

空气质量指数（AQI）的确定

每天都会更新和发布的空气质量指数是如何确定的？该指数中有细颗粒物、可吸入颗粒物、二氧化硫等六大检测项目。空气质量监测人员测出各污染物的浓度，再换算成它们的质量指数，其中指数最大的污染物会被确定为首要污染物。首要污染物的质量指数即为该地区的空气质量指数。

表 4-5 某地区各污染物的质量指数

污染物	PM _{2.5}	SO ₂	NO ₂	O ₃	CO	PM ₁₀
指数	243	4	35	2	20	135

如表 4-5 所示，该地区细颗粒物 PM_{2.5} 的质量指数最大，为首要污染物。空气质量等级为重度污染。

近年来，我国许多地区受到了雾霾天气的侵扰。大量极细微的颗粒物均匀地悬浮在空中，这些颗粒物容易吸附空气中的水蒸气形成雾滴，使空气水平能见度小于10 km，我们把这种空气混浊现象叫作雾霾（fog and haze）。根据颗粒物直径的大小可以将其分为细颗粒物^①（PM_{2.5}，直径小于2.5 μm）、可吸入颗粒物（PM₁₀，直径小于10 μm）等。

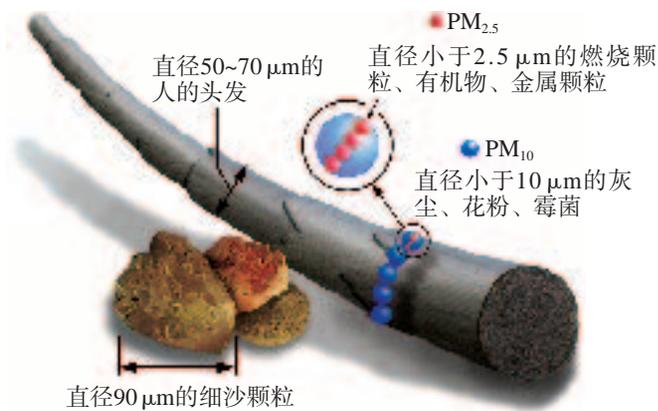


图 4-13 PM_{2.5}与PM₁₀的大小

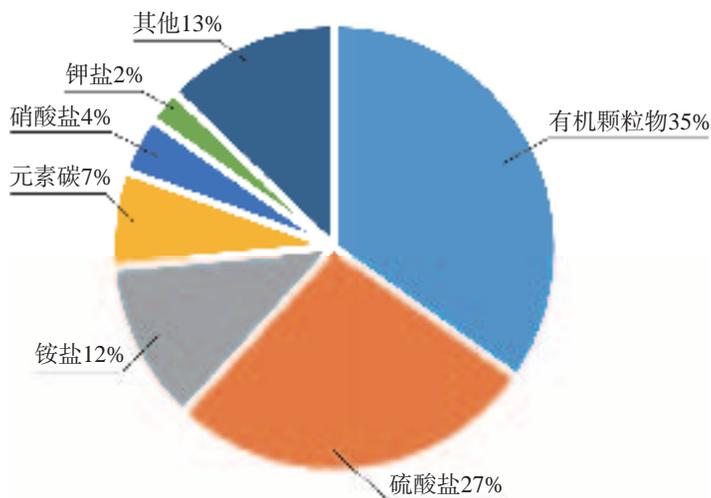


图 4-14 某地PM_{2.5}的组成

分析悬浮在空气中的这些颗粒物的化学组成，其中硫酸盐所占比例较大，这些硫酸盐的形成与空气中的二氧化硫有关。二氧化硫在一定条件下可以与碳酸钙反应生成亚硫酸钙，并进一步被空气中的氧气氧化为硫酸钙。

防治大气污染必须从源头抓起，企业、社会组织和公众要共同参与环境治理。企业必须转变能源结构，坚持绿色发展，控制二氧化硫等有害气体的排放；政府要提高污染排放标准，社会各界要大力监督，共同打赢蓝天保卫战。

^① 细颗粒物又称为可入肺颗粒物，被吸入人体后会进入支气管，干扰肺部的气体交换，引发哮喘、支气管炎和心血管病等疾病。这些颗粒物还可以通过支气管和肺泡进入血液，其中的有害气体、重金属等溶解在血液中，对人体健康的危害更大。

调查研究

雾霾知多少

请从雾霾的成因、危害与防治等方面，选择一个为主题，以小组为单位，设计调查方案，开展课外调查与实践。将收集到的调查数据和资料整理成文，撰写调查报告，并与同学交流。

理解应用

- 空气中的下列物质，不计入“城市空气质量日报”报告项目的是（ ）

A. 二氧化硫 B. 氮氧化物 C. 二氧化碳 D. 悬浮颗粒物
- 为减少酸雨的产生，可采取的措施有（ ）

① 把工厂烟囱造高 ② 化石燃料脱硫 ③ 在已酸化的土壤上加石灰 ④ 开发新能源

A. ①②③ B. ②④ C. ②③④ D. ①③④
- 固硫剂能把含硫燃料燃烧生成的二氧化硫转化成盐的形式固定在炉渣中。下列选项的物质组合中，各种试剂常用作固硫剂的是（ ）

① CaO ② NH_4NO_3 ③ Na_2CO_3 ④ MgCl_2

A. ① B. ②③ C. ①③ D. ①②③④
- 某地收集到的雨水样品的pH随放置时间延长而减小，试猜测可能的原因。请写出有关反应的化学方程式。
- 某火力发电厂所在地有较丰富的菱镁矿（主要成分为碳酸镁），若该发电厂以含硫重油为燃料，请提出两种吸收废气中二氧化硫的方法，写出有关反应的化学方程式。

第一种：_____。

第二种：_____。
- 硫酸厂的烟道气会严重污染环境。不同的脱硫方案常涉及下列反应，请写出相应的化学方程式。

(1) 二氧化硫与熟石灰反应。

(2) 亚硫酸钙与氧气反应。

(3) 亚硫酸铵与氧气反应。

7. 下表列出了3种燃煤烟气脱硫方法的原理。

方法 I	用氨水将 SO_2 转化为 NH_4HSO_3 , 再氧化为 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
方法 II	用生物质热解气 (主要成分为 CO 、 CH_4 、 H_2) 将 SO_2 在高温下还原成单质硫
方法 III	用 Na_2SO_3 溶液吸收 SO_2

(1) 方法 I 中氨水吸收燃煤烟气中 SO_2 反应的化学方程式为_____。

(2) 用方法 I 脱硫时, 能提高 SO_2 去除率的措施有_____。

A. 增大氨水浓度

B. 升高反应温度

C. 使燃煤烟气与氨水充分接触

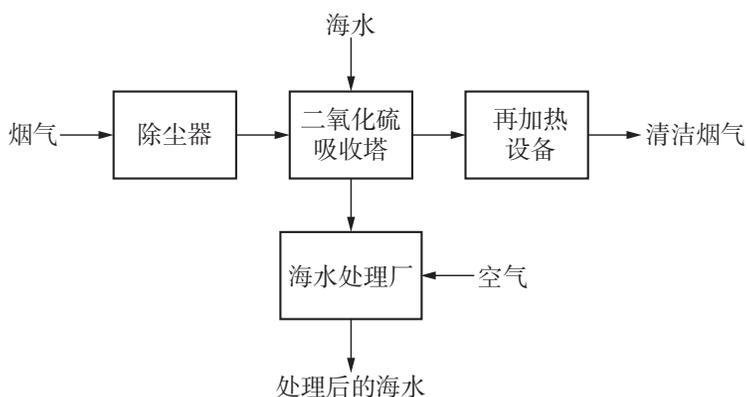
D. 通入空气使 HSO_3^- 转化为 SO_4^{2-}

(3) 采用方法 I 脱硫, 并不需要预先除去燃煤烟气中大量的 CO_2 , 原因是_____ (用离子方程式表示)。

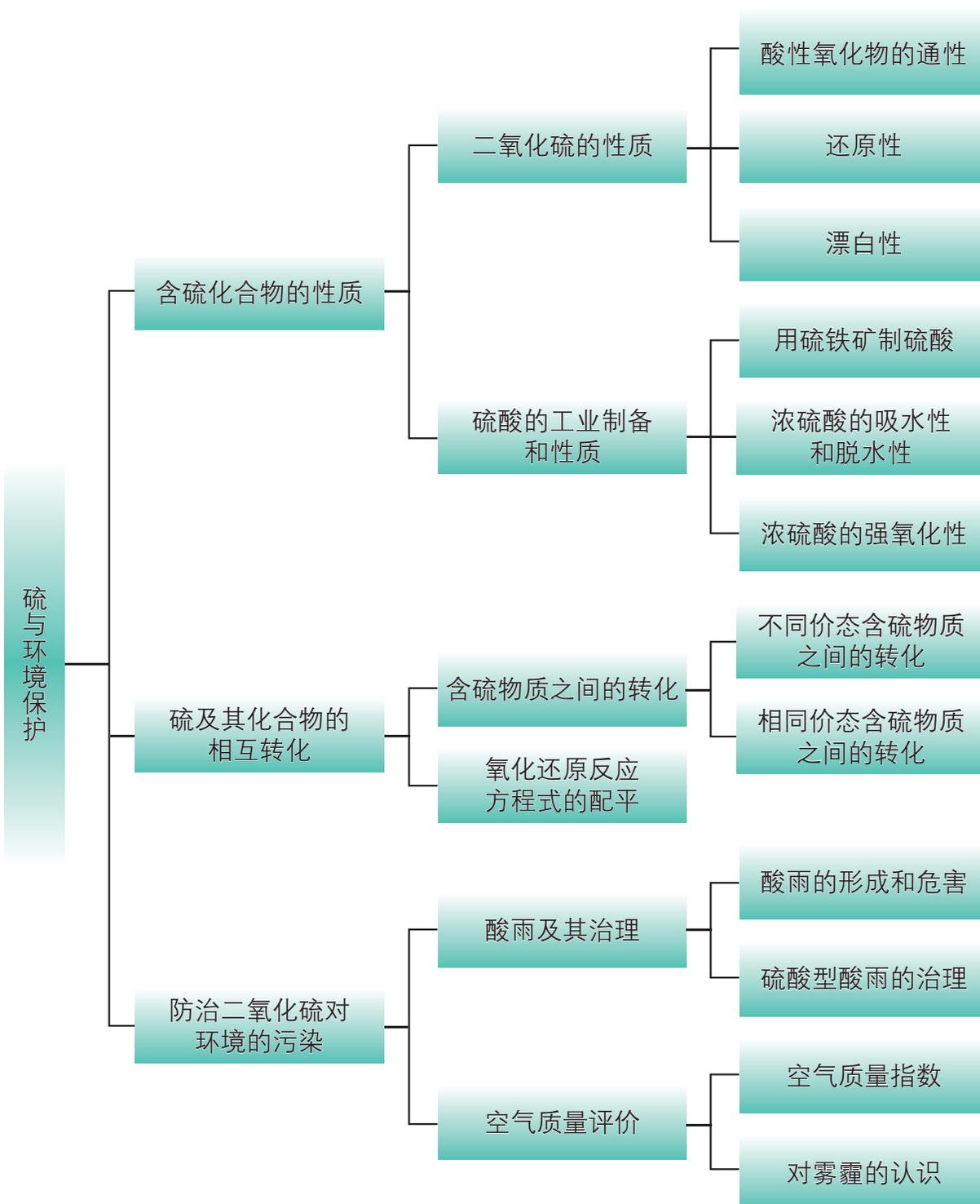
(4) 方法 II 中 CO 还原 SO_2 反应的化学方程式为_____。

(5) 对方法 III 吸收 SO_2 后的溶液加热可使吸收液再生, 其反应的化学方程式为_____。

8. 目前, 我国大、中型火电厂的脱硫系统大多采用石灰石-石膏法工艺 (具体内容参见本专题第三单元的“拓展视野”)。一些沿海地区的发电厂则用海水脱硫, 其过程如下图所示 (从吸收塔出来的酸性气体, 再加热以促进扩散, 防止其腐蚀设备)。请查阅资料比较这两种脱硫方法的优缺点。



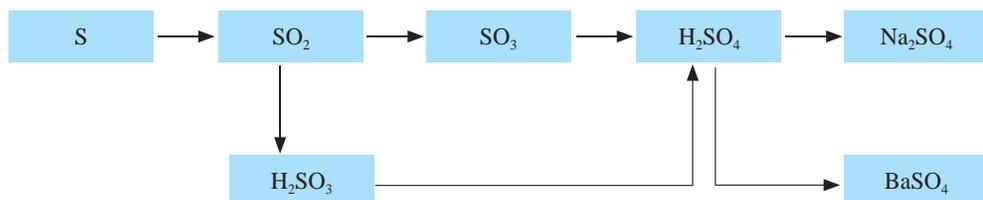
建构整合



回顾与总结

请参照下列问题或线索，回顾和总结本专题的学习内容。

✓ 请按下列线索归纳硫及其化合物的性质，写出转化需要的条件。



- ✓ 二氧化硫有哪些化学性质？怎样通过实验来验证这些性质？
- ✓ 二氧化硫的漂白作用有什么特点？
- ✓ 制取硫酸工艺流程的主要步骤有哪些？写出化学方程式。
- ✓ 沸腾炉、接触室、吸收塔的主要作用各是什么？
- ✓ 结合实例说明稀硫酸和浓硫酸的性质有何异同。
- ✓ 从非氧化还原反应的角度举例说明含硫物质转化的途径，写出化学方程式。
- ✓ 从氧化还原反应的角度举例说明含硫物质转化的途径，写出化学方程式。
- ✓ 氧化还原反应方程式配平的一般步骤是什么？试举例说明。
- ✓ 二氧化硫的过度排放对自然界中硫的循环会有什么影响？
- ✓ 酸雨是如何形成的？酸雨对生态环境有哪些危害？
- ✓ 举例说明治理硫酸型酸雨的具体思路。
- ✓ 空气质量指数是什么？它包含哪些监测项目？
- ✓ 雾霾是如何形成的？怎样才能减少雾霾？

综合评价

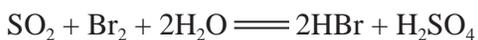
1. 下列反应中，硫元素被还原的变化是（ ）

- A. $S \rightarrow H_2S$ B. $S \rightarrow SO_2$
C. $Na_2SO_3 \rightarrow SO_2$ D. $SO_2 \rightarrow SO_3$

2. 下列反应中，能产生 SO_2 的是（ ）

- ① 硫在空气中燃烧
② 亚硫酸钠和硫酸反应
③ 碳和热的浓硫酸反应
④ 铜和热的浓硫酸反应
- A. ①②③ B. ②④ C. ②③④ D. ①②③④

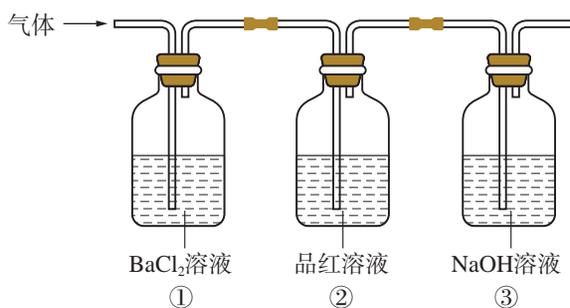
3. 某硫酸厂周围的空气中含有较多的二氧化硫，某兴趣小组为了测定空气中二氧化硫的体积分数，做了如下实验。取标准状况下的空气1.000 L（含氮气、氧气、二氧化碳、二氧化硫等），缓慢通过足量溴水，反应的化学方程式为：



在所得溶液中加入稍过量的氯化钡溶液，产生白色沉淀，过滤后将沉淀洗涤、干燥，称得其质量为0.233 g。试回答：

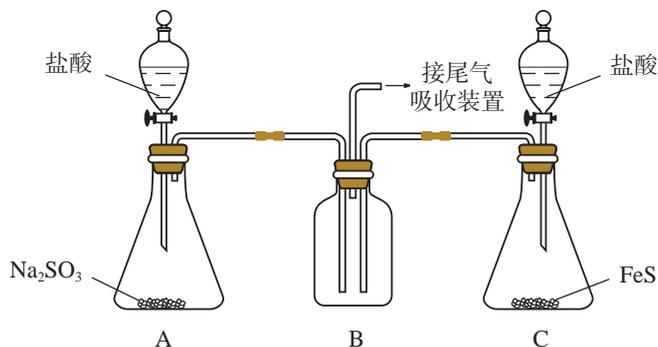
- (1) 加入的氯化钡溶液为什么要稍过量？
- (2) 过滤后，如何除去沉淀表面附着的杂质？
- (3) 计算该空气样品中二氧化硫的体积分数。

4. 将混有少量 SO_2 、 SO_3 的空气样品通入下图所示的装置中，以检验其中的 SO_2 、 SO_3 。

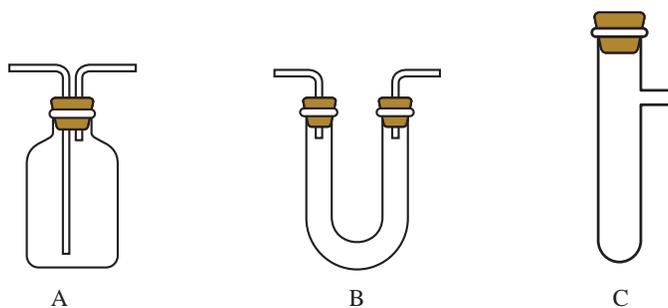


- (1) 请写出试剂瓶①和③中反应的化学方程式。
- (2) 为什么要将气体样品依次通过品红溶液和 NaOH 溶液？

5. 利用下图实验装置，将A、C中滴液漏斗上口玻璃塞取下，打开活塞，把少量盐酸分别滴加到锥形瓶中。在集气瓶C中产生无色 H_2S 气体，片刻后在集气瓶B中有淡黄色固体硫生成。写出A、B、C中发生反应的化学方程式。



6. 浓硫酸和木炭在加热时发生反应的化学方程式为 $2H_2SO_4(\text{浓}) + C \xrightarrow{\Delta} CO_2 \uparrow + 2H_2O + 2SO_2 \uparrow$ 。请从下图中选用所需的仪器（可重复选用）组成一套装置，进行该反应并检验反应产物。现提供浓硫酸、木炭和酸性 $KMnO_4$ 溶液，其他固、液试剂自选。（连接和固定仪器用的玻璃管、胶管、铁夹、铁架台及加热装置等均略去）



将所选的仪器按连接顺序由上至下依次填入下表，并写出该仪器中应加试剂的名称和作用。

选用的仪器 (填字母)	加入的试剂	作用

微观结构与 物质的多样性

专题

5

元素周期律和元素周期表

微粒之间的相互作用力

从微观结构看物质的多样性

在千姿百态的自然界中，数量庞大、纷繁复杂的物质仅由百余种元素组成。科学家探索元素性质和原子结构之间的关系，揭示了不同种类元素性质变化的规律。研究物质中微粒之间的相互作用力，有助于我们认识微观粒子是如何构成宏观物质的，不同类型的物质具有哪些共性和特性，如何从本质上理解物质多样性的奥秘。

第一单元 元素周期律和元素周期表

随着发现的元素种类增多，科学家尝试从不同的角度对已知元素的性质进行分类，获得了反映元素性质变化的一些规律，以便能更全面地认识元素之间的内在关系，为进一步发现新元素和预测未知元素的性质奠定理论基础。



目标预览

通过本单元内容的学习，要求同学们努力达到：

能依据原子结构特征分析元素性质的递变规律，形成结构决定性质的观念，认识元素性质的递变规律及其本质原因；能从物质变化的实验事实和有关数据中提取证据；能从宏观和微观结合的视角进行分析、比较，得出规律性的结论。

元素周期律

随着人们对原子内部结构的深入认识，化学家尝试将元素的宏观性质与原子的微观结构之间建立联系，研究元素的性质与核电荷数之间的关系。为了方便研究，化学家按照核电荷数由小到大的顺序给元素依次编号，这种编号叫作**原子序数**（atomic number）。元素的原子序数在数值上等于该元素原子的核电荷数。

分析原子序数为1~18号的元素原子核外电子排布可以发现，随着元素核电荷数的递增，除H、He外，元素原子最外层电子数重复出现从1递增到8的变化（图5-1）。

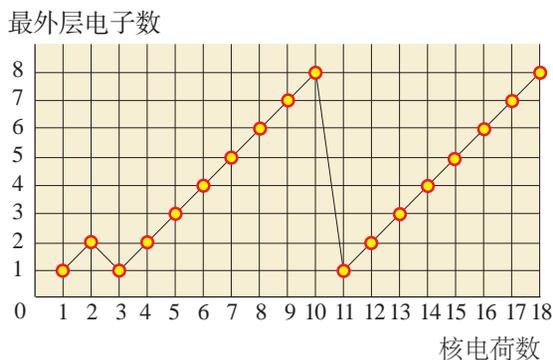


图 5-1 核电荷数为1~18的元素原子最外层电子数

交流讨论



表5-1是原子序数为3~9号和11~17号元素的原子半径数值。请同学们讨论，随着元素核电荷数的递增，元素的原子半径有怎样的变化规律？

表 5-1 3~9号和11~17号元素的原子半径

3~9号 元素	₃ Li 锂	₄ Be 铍	₅ B 硼	₆ C 碳	₇ N 氮	₈ O 氧	₉ F 氟
原子半径 /pm	152	111	88	77	70	66	64
11~17号 元素	₁₁ Na 钠	₁₂ Mg 镁	₁₃ Al 铝	₁₄ Si 硅	₁₅ P 磷	₁₆ S 硫	₁₇ Cl 氯
原子半径 /pm	186	160	143	117	110	104	99

注：1 pm=10⁻¹² m。

1. 以元素原子核外最外层电子数为横坐标，原子半径为纵坐标，在下面的坐标系中表示出3~9号元素、11~17号元素原子的最外层电子数和原子半径所对应的点，并把这两组点分别用光滑的曲线连接起来。

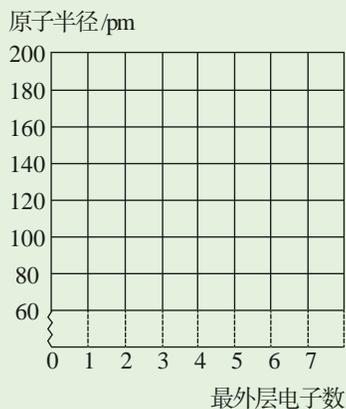


图 5-2 3~9号、11~17号元素原子的最外层电子数与原子半径

2. 分析图中曲线可以发现，3~9号元素及11~17号元素随着核电荷数的递增，原子半径的变化规律是_____。

通过上述分析我们可以发现，随着核电荷数的递增，元素的原子半径呈现周期性变化，原子序数为3~9号和11~17号元素的原子半径分别依次递减。

我们知道，物质的性质与其结构有着密切的联系，元素的性质主要是由元素原子核外电子排布决定的。那么，元素的性质是否也随着核电荷数的递增呈现周期性变化呢？



交流讨论

表5-2给出了原子序数为1~18号元素的最高化合价和最低化合价，请你以原子序数为横坐标，元素的最高化合价和最低化合价为纵坐标，用不同颜色的笔画出折线图，探索元素的最高和最低化合价随核电荷数变化的规律。

表 5-2 1~18号元素最高化合价和最低化合价

1~9号元素	H	He	Li	Be	B	C	N	O	F
最高和最低化合价	+1	0	+1	+2	+3	+4	+5		
						-4	-3	-2	-1
10~18号元素	Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
最高和最低化合价	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	0
					-4	-3	-2	-1	



图 5-3 1~18号元素最高和最低化合价示意图

从绘制的图像分析，1~18号元素最高和最低化合价的变化规律为_____。

元素的最高化合价和最低化合价的数值与原子最外层电子数的关系是_____。

由此可见，随着元素核电荷数的递增，元素的主要化合价（最高化合价与最低化合价）呈现周期性变化。

 方法导引

判断元素的金属性与非金属性强弱

人们在长期的研究中发现，元素单质和化合物的某些性质有助于判断元素的金属性、非金属性强弱。通常情况下，元素原子失电子能力越强，元素的金属性越强，它的单质越容易从水或酸中置换出氢，该元素最高价氧化物的水化物的碱性越强；元素原子得电子能力越强，元素的非金属性越强，它的单质越容易与氢气反应形成气态氢化物，气态氢化物的热稳定性越强，该元素最高价氧化物的水化物的酸性越强。

我们以11~17号元素为例，通过如下实验研究元素的金属性与非金属性随核电荷数的变化规律。



钠、镁、铝性质的递变

基础实验



进行下列实验，探究钠、镁、铝元素的金属性强弱，把实验现象记录在表5-3中。

【实验1】切取绿豆大小的一小块金属钠，用滤纸吸干其表面的煤油。在一只250 mL烧杯中加入少量的水，在水中滴加两滴酚酞溶液，将金属钠投入烧杯中，观察并记录实验现象。

【实验2】在两支试管中，分别放入已用砂纸打磨除去氧化膜的一小段镁条和一小块铝片，向试管中加入适量的水，再向水中滴加两滴酚酞溶液，观察实验现象。然后加热试管，观察并记录实验现象。

【实验3】在两支试管中，分别放入已用砂纸打磨除去氧化膜的一小段镁条和一小块铝片，再向试管中各加入2 mL $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸，观察并记录实验现象。

表 5-3 探究钠、镁、铝金属性强弱的顺序

实验		Na	Mg	Al
与水的反应	与冷水的反应			
	与热水的反应	—		
与盐酸的反应		—		

钠、镁、铝金属性强弱的顺序是_____。

从上述实验可以得出，钠、镁、铝三种金属单质与水或酸反应的剧烈程度逐渐减弱，说明钠、镁、铝元素的金属性依次减弱。这是因为当元素原子的核外电子层数相同时，随着核电荷数的递增，原子半径逐渐减小（稀有气体元素除外），原子失电子能力逐渐减弱，所以金属性逐渐减弱。



交流讨论

阅读并分析表5-4，根据硅、磷、硫、氯元素的气态氢化物的形成条件和热稳定性，探究硅、磷、硫、氯元素的非金属性强弱。

表 5-4 硅、磷、硫、氯的气态氢化物

元素	$_{14}\text{Si}$	$_{15}\text{P}$	$_{16}\text{S}$	$_{17}\text{Cl}$
单质与氢气的反应条件	高温下反应	磷蒸气与氢气能反应	加热时反应	光照或点燃时发生爆炸而化合
气态氢化物的化学式	SiH_4	PH_3	H_2S	HCl
气态氢化物的热稳定性	不稳定	不稳定	受热分解	稳定

按硅、磷、硫、氯元素的顺序，随着核电荷数的递增，其气态氢化物的热稳定性如何变化？硅、磷、硫、氯元素的非金属性如何变化？

从表5-4可以看出，按硅、磷、硫、氯元素的顺序，它们的单质与氢气反应的条件逐渐变得容易，而反应得到的气态氢化物的热稳定性逐渐增强，可见这四种元素的非金属性依次增强。这是因为当元素原子的核外电子层数相同时，随着核电荷数的递增，原子半径逐渐减小（稀有气体元素除外），原子得电子能力逐渐增强，所以非金属性逐渐增强。



观察思考

1. 阅读并分析表5-5，根据11~17号元素最高价氧化物的水化物的酸碱性强弱，探究元素的金属性和非金属性的强弱变化规律。

表 5-5 11~17号元素最高价氧化物的水化物

元素	$_{11}\text{Na}$	$_{12}\text{Mg}$	$_{13}\text{Al}$	$_{14}\text{Si}$	$_{15}\text{P}$	$_{16}\text{S}$	$_{17}\text{Cl}$
化学式	NaOH	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	$\text{Al}(\text{OH})_3$	H_4SiO_4	H_3PO_4	H_2SO_4	HClO_4
酸碱性强弱	强碱	中强碱		弱酸	中强酸	强酸	酸性更强

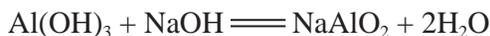
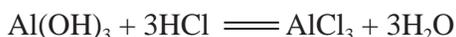
从上表分析可知, 11~17号元素最高价氧化物的水化物的酸碱性强弱的变化规律是_____;
_____ ; 11~17号元素的金属性和非金属性强弱的变化规律是_____。

2. 根据11~17号元素最高价氧化物的水化物的酸碱性强弱的变化规律, 预测 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 可能具有的性质是_____。

通过观察下列实验现象验证你的猜想。

在两支洁净的试管中分别加入2~3 mL $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 氯化铝溶液, 逐滴加入 $6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 氨水, 生成白色胶状物质, 继续滴加氨水直到不再产生沉淀为止, 即制得 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 沉淀。然后向一支试管中滴加 $6.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸, 向另一支试管中滴加 $6.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaOH溶液。边滴加边振荡, 记录你观察到的现象: _____。

实验表明, $\text{Al}(\text{OH})_3$ 既能与盐酸反应, 又能与氢氧化钠溶液反应, 它是两性氢氧化物。



元素原子的核外电子层数相同时, 随着核电荷数逐渐增加, 原子半径逐渐减小(稀有气体元素除外), 原子核对最外层电子的吸引能力逐渐增强, 元素原子失电子能力逐渐减弱, 得电子能力逐渐增强, 金属性逐渐减弱, 非金属性逐渐增强。

更多的研究表明, 随着元素核电荷数的递增, 元素的原子半径(稀有气体元素除外)、元素的主要化合价(最高化合价和最低化合价)、元素的金属性和非金属性均呈现周期性变化。元素的性质随着元素核电荷数的递增呈周期性变化的规律叫作**元素周期律**(periodic law of the elements)。元素周期律是元素原子核外电子排布随着元素核电荷数的递增发生周期性变化的必然结果, 揭示了元素之间的内在关系。

元素周期表

人们把已经发现的元素按一定的规则排列成**元素周期表**(periodic table)。元素周期表直观地反映了元素的性质随着核电荷数的递增呈现周期性变化的规律。

科学史话

门捷列夫发现元素周期表

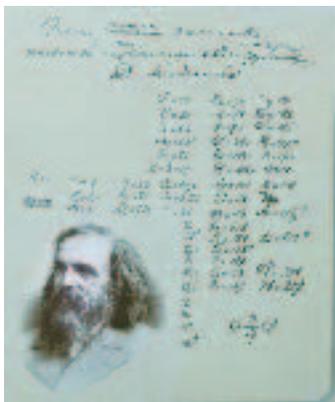


图 5-4 门捷列夫 (Д. И. Менделеев, 1834—1907)

在19世纪中叶,俄国化学家门捷列夫研究元素周期律时,人们对原子的内部结构还没有足够深入的认识。但门捷列夫坚信元素的性质与它们的原子量(相对原子质量)之间存在某种联系。为了揭示元素间相互联系的规律,他着手进行了艰巨而富有创造性的工作。其间,门捷列夫对多个元素的原子量(相对原子质量)的数值提出了质疑和修订。正是这种敢于质疑、勇于创新的精神促使门捷列夫最终发现了元素性质随原子量(相对原子质量)变化的规律,并据此制作了元素周期表,使得元素在科学家面前呈现出一种系统化的整体图景。

将已知元素中电子层数相同的元素按原子序数递增的顺序从左到右排成行,将最外电子层电子数相同的元素按电子层数递增的顺序由上而下排成列,就可以得到下面的元素周期表。

元 素 周 期 表

																		0 18		I					
1 H 1.008																	2 He 4.003								
3 Li 6.94	4 Be 9.012																	5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16.00	9 F 18.99	10 Ne 20.18		
11 Na 22.99	12 Mg 24.31																	13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.07	17 Cl 35.45	18 Ar 39.95		
19 K 39.10	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.88	23 V 50.94	24 Cr 52.00	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.38	31 Ga 69.72	32 Ge 72.64	33 As 74.92	34 Se 78.96	35 Br 79.90	36 Kr 83.80								
39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc [98]	44 Ru 101.1	45 Rh 102.9	46 Pd 106.4	47 Ag 107.9	48 Cd 112.4	49 In 114.8	50 Sn 118.7	51 Sb 121.8	52 Te 127.6	53 I 126.9	54 Xe 131.3										
55 Cs 132.9	56 Ba 137.3	57-71 La-Lu [未定]	72 Hf 178.5	73 Ta 180.9	74 W 183.8	75 Re 186.2	76 Os 190.2	77 Ir 192.2	78 Pt 195.1	79 Au 197.0	80 Hg 200.6	81 Tl 204.4	82 Pb 207.2	83 Bi 209.0	84 Po [209]	85 At [210]	86 Rn [222]								
87 Fr [223]	88 Ra [226]	89-103 Ac-Lr [未定]	104 Rf [261]	105 Db [262]	106 Sg [266]	107 Bh [264]	108 Hs [277]	109 Mt [268]	110 Ds [271]	111 Rg [272]	112 Cn [285]	113 Nh [284]	114 Fl [289]	115 Mc [288]	116 Lv [293]	117 Ts [294]	118 Og [294]								
105 La 138.9	106 Ce 140.1	107 Pr 140.9	108 Nd 145.0	109 Pm [145]	110 Sm 150.4	111 Eu 151.9	112 Gd 157.3	113 Tb 158.9	114 Dy 162.5	115 Ho 164.9	116 Er 167.3	117 Tm 168.9	118 Yb 173.0	119 Lu 174.9											
119 Ac [未定]	120 Th [未定]	121 Pa [未定]	122 U [未定]	123 Np [未定]	124 Pu [未定]	125 Am [未定]	126 Cm [未定]	127 Bk [未定]	128 Cf [未定]	129 Es [未定]	130 Fm [未定]	131 Md [未定]	132 No [未定]	133 Lr [未定]											

图 5-5 元素周期表

元素周期表有7行，每一行称为一个**周期**（period）。每一个周期中元素的电子层数相同，从左到右核电荷数递增，周期的序数就是该周期元素具有的电子层数。第一周期最短，只有2种元素，第二、三周期各有8种元素，这三个周期称为短周期；其他周期均为长周期。

元素周期表有18列。除第8、9、10三列叫作Ⅷ族外，其余每列各为一**族**（group）。ⅠA~ⅦA族是主族元素。氦（He）及最外层电子数为8的元素化学性质不活泼，把它们的化合价定为0，因而叫作0族。主族和0族由短周期和长周期元素共同构成。ⅠB~ⅦB族是副族，副族和Ⅷ族完全由长周期元素构成。同一主族的元素的最外层电子数相同，元素的性质具有相似性，但由于电子层数不同，它们的性质也呈现出一定的递变规律。人们根据同一族中元素的性质特点，还给有些族以特殊的名字，如ⅠA族中除氢以外的元素又被称为**碱金属**（alkali metal），ⅦA族的元素统称为**卤素**（halogen）。

碱金属包含锂（Li）、钠（Na）、钾（K）、铷（Rb）、铯（Cs）、钫（Fr），它们的物理性质、化学性质具有一定的相似性。除了铯外，碱金属都是银白色的单质，硬度小，延展性好，密度比较小，熔点也比较低。它们原子的最外层都只有1个电子，在化学反应中易失去1个电子，成为带一个单位正电荷的简单离子。

交流讨论



阅读表5-6。从碱金属与水反应的现象来看，你认为ⅠA族元素（氢元素除外）金属性强弱变化有什么规律？

表 5-6 碱金属与水反应的现象

碱金属	Li	Na	K	Rb	Cs
与水反应的现象	反应较为缓和，锂浮在水面，并以稳定、适中的速度释放出气体	反应迅速并放热，钠融化成小球	反应迅速，伴有燃烧，轻微爆炸	剧烈反应，发生爆炸	剧烈反应，发生剧烈爆炸

分析上表可知，ⅠA族元素（氢元素除外）金属性强弱变化规律为_____。

卤素包括氟（F）、氯（Cl）、溴（Br）、碘（I）、砹（At），它们都是活泼的非金属元素。卤素的原子在化学反应中都容易得到1个电子，自然界中不存在游离态的卤素单质。卤素单质及其化合物在生活中用途广泛，如在牙膏中添加氟化钠可降低患蛀牙的概率，具有强氧化性的氯气可用于自来水和泳池杀菌消毒，碘酒在医疗中用于伤口的消毒等。



基础实验

学生必做实验

卤素性质的递变

完成下列实验，观察并记录现象，写出有关的化学方程式。

表 5-7 探究卤素非金属性的强弱

实验操作	实验现象	化学方程式
1. 将少量氯水分别加入盛有 NaBr 和 KI 溶液的试管中，加入少量四氯化碳，振荡、静置		
2. 将少量溴水加入盛有 KI 溶液的试管中，振荡，加入少量四氯化碳，振荡，静置		

通过上述实验发现，随着核电荷数的递增，卤素单质的氧化性强弱顺序为_____。

由此可得，VIIA族元素非金属性强弱变化规律是_____。

通过研究发现，同一主族元素的原子最外层电子数相同，随着核电荷数的递增，电子层数逐渐增加，原子半径逐渐增大，原子失去电子的能力逐渐增强，获得电子的能力逐渐减弱，元素的金属性逐渐增强，非金属性逐渐减弱。

同一周期元素（稀有气体元素除外）的原子，核外电子层数相同，随着核电荷数的递增，最外层电子数逐渐增加，原子半径逐渐减小，原子失去电子的能力逐渐减弱，得到电子的能力逐渐增强。因此，同一周期的元素（稀有气体元素除外），从左到右金属性逐渐减弱，非金属性逐渐增强。

元素周期表是元素周期律的具体表现形式。通过元素在元素周期表中的相对位置，判断元素的性质特点，为化学研究提供了极大的方便。

由于元素周期律中元素的金属性和非金属性存在递变规律，可以从元素周期表中找到金属元素与非金属元素的分界线（如图5-6所示的虚折线），分界线左侧是金属元素，右侧是非金属元素。

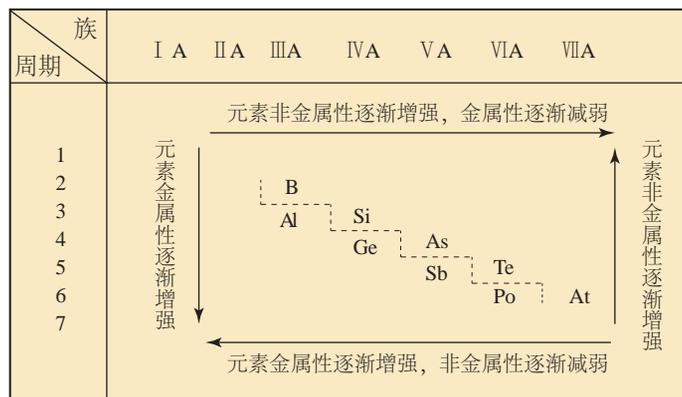


图 5-6 元素周期表中元素金属性、非金属性的递变

学以致用



图5-6表明了元素周期表中元素金属性、非金属性的递变规律，完成下面各题。

1. 在图中适当位置写出金属性最强的元素和非金属性最强的元素的符号（放射性元素除外）。
2. 指出图中虚线右上方、左下方区域的元素是金属元素还是非金属元素。

位于金属与非金属分界线附近的硼、硅、锗、硒等元素，它们的物理性质和化学性质介于金属和非金属之间。这些元素的单质质地一般较脆，外表有金属光泽，大多可以用来作半导体材料。从20世纪40年代中期起，半导体材料硅和锗制成的晶体管问世，人类开创了电子技术历史的新纪元。

元素周期律中蕴含的思想

学科提炼



元素周期律反映了元素核电荷数的递增引起元素性质发生周期性变化的事实，使化学研究从仅限于对个别的零散事实作无规律的罗列中摆脱出来，不再把自然界的元素看作是彼此孤立、互不依赖的偶然堆积，从本质上揭示了元素原子核外电子排布与元素性质周期性变化的关系，从而有力地论证了事物发展量变引起质变、螺旋式周期性变化的规律。

元素周期表是周期律的具体表现形式，将自然界不同性质的元素纳入一个系统内，互相依存，对立统一。依据元素在周期表中的位置和对应的某些性质对元素进行分类，体现了元素原子结构、元素在周期表中的位置、元素性质三者之间的关系。因此，依据元素在周期表中所处的位置，可预测元素可能具有的某些性质。

元素周期表的应用

元素周期表反映出元素性质的周期性变化规律，揭示了物质世界的统一性。现代元素周期表的内涵非常丰富，它不仅为化学基本理论研究提供了依据，还可以指导新型材料的开发和应用。

元素的原子结构决定了元素在周期表中的位置，而元素在周期表中的位置反映了元素的原子结构和元素的性质特点。我们可以根据元素在周期表中的位置，推测元素的原子结构，预测未知元素的主要性质。

拓展视野

从“类铝”到镓

门捷列夫在编写元素周期表时留下了很多空格，他认为这些空格应由当时未被发现的元素来填满。其中在铝元素下方的一个空格（图5-7），门捷列夫称它为“类铝”。

在门捷列夫编制出元素周期表4年之后，法国化学家布瓦博德朗（L. de Boisbaudran, 1838—1912）首次通过电解获得了约1 g的金属镓，并对其性质作了初步的研究。门捷列夫得知后，大胆提出质疑，认为布瓦博德朗关于镓的一些性质测定并不完全正确，特别是其密度不应是 $4.7 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ，而应为 $5.9\sim 6.0 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。布瓦博德朗知悉后十分惊讶，因为当时世界上只有他拥有金属镓。后来，布瓦博德朗将金属镓进一步提纯，重新测得其密度为 $5.96 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ，与门捷列夫的预测完全一致。门捷列夫所预言的类铝、类硼和类硅3种元素，在此后的15年内相继被发现。令人惊讶的是，用实验方法测定的元素的一些数据竟和门捷列夫的预言几乎完全吻合。

	Al 2.70 26.98	
Zn 7.14 65.41	?	Ge 5.32 72.64
	In 7.31 114.8	

图 5-7 “类铝”的位置

元素周期表可以有效地指导人们寻找新材料和稀有矿产。某元素通常与它的同族元素、同周期相邻元素的性质相似，在自然界往往以共生矿的形式存在。当希望找到一种有价值的稀有元素时，就可以根据其在周期表中上下左右位置的元素，定向选择那些地壳中含量较大或分布比较集中的元素的矿床，往往获得事半功倍的效果。

学以致用

铂被称为“白金”，价格昂贵，用途广泛，尤其可用于制造高级计算机的电路和精密仪器的部件，供不应求。铂在地壳中的含量仅约为 $1.5 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 。化学家和地质学家根据元素周期表中金和铂的位置关系尝试从金元素矿床中去寻找铂，结果发现，在世界著名的大金矿——南美的哥伦比亚金矿、非洲的阿扎尼亚金矿和欧亚大陆分界处的乌拉尔金矿中，都共生着大量的铂，不仅有颗粒状的单质，还有质量达上千克乃至几千克的金属块。

试分析上述“找铂”过程中所涉及的思想方法。



图 5-8 铂

人们可以借助元素周期表制备具有特定性质的新物质，例如在金属和非金属的分界线附近寻找半导体材料（如锗、硅、硒等），在过渡元素（副族和Ⅷ族）中寻找各种优良的催化剂和耐高温、耐腐蚀的合金材料。过渡元素中，钒、铂、铑、银所组成的物质是化工生产中常用的催化剂。位于第六周期ⅥB族的钨是熔点最高的金属，位于第四周期ⅣB族的钛，密度小、耐高温、耐腐蚀，适用于制造火箭发动机壳体、人造卫星壳体等。

调查研究

稀土资源的开发和利用

镧系元素及钪、钇共17种元素统称为稀土元素，它们的化学性质十分相似，多共生在同一矿物中。因其在自然界中含量少，又以氧化物或含氧酸盐矿物共生的形式存在，故叫“稀土”。稀土是制造被称为“灵巧炸弹”的精密制导武器、雷达和夜视镜等各种武器装备不可缺少的元素。我国是稀土资源大国，储量约占世界储量的80%。

(1) 请找出镧系元素和钪、钇元素在元素周期表中的位置。

(2) 通过上网或查找图书资料，了解我国已故的国家最高科学技术奖获得者、著名化学家徐光宪院士在稀土元素的提取和应用方面的卓越成就。



图 5-9 中国化学家
徐光宪院士
(1920—2015)

理解应用

- 与主族元素在元素周期表中所处的位置有关的是 ()
 - 相对原子质量
 - 核内中子数
 - 次外层电子数
 - 电子层数和最外层电子数
- 在同一周期的元素中（稀有气体元素除外），随着原子序数的递增，下列说法中错误的是 ()
 - 最外层电子数逐渐增多
 - 原子半径逐渐减小
 - 元素原子的失电子能力逐渐增强
 - 元素的非金属性逐渐增强
- 下列说法中错误的是 ()
 - 钠的金属性比镁强
 - 溴元素的非金属性比氯元素的弱
 - 硝酸的酸性比磷酸弱
 - 气态氢化物的热稳定性： $\text{H}_2\text{S} < \text{HCl}$

4. 下列说法中错误的是 ()

- A. 元素周期表中有7个主族、7个副族
- B. 稀有气体元素原子的最外层电子数均为8
- C. 氢是原子半径最小的元素
- D. 氧元素位于第二周期ⅥA族

5. 下列有关性质的比较, 不能用元素周期律解释的是 ()

- A. 酸性: $\text{H}_2\text{SO}_4 > \text{H}_3\text{PO}_4$
- B. 非金属性: $\text{Cl} > \text{Br}$
- C. 碱性: $\text{NaOH} > \text{Mg}(\text{OH})_2$
- D. 热稳定性: $\text{Na}_2\text{CO}_3 > \text{NaHCO}_3$

6. 根据元素周期表回答下列问题:

(1) 第三周期中, 原子半径最小的元素是 _____ (填元素符号, 下同), 非金属性最强的元素是 _____。

(2) ⅦA族中, 原子半径最小的元素是 _____, 非金属性最强的元素是 _____。

(3) 钠、硫、硅、锗四种元素的单质中, 适合作半导体材料的是 _____。

7. 金属铷 (Rb) 与金属钠位于同一主族, 试比较铷、钠与水反应产物的碱性强弱, 写出有关的化学方程式。

8. 氙的熔点是 $-189.4\text{ }^\circ\text{C}$, 原子半径是 191 pm 。氙的熔点是 $-111.8\text{ }^\circ\text{C}$, 原子半径是 218 pm 。根据这些信息和0族元素在周期表中的排列, 预测氙的熔点和原子半径的范围, 并说明你是如何进行推断的。

9. 查阅相关资料, 对照元素周期表找出下列元素在周期表中的位置, 指出其中的主族元素, 并画出它们的原子结构示意图。

(1) 地壳中含量较大的三种元素。

(2) 生物体中的四种大量元素。

第二单元 微粒之间的相互作用力

构成物质的基本微粒有原子、离子和分子等，这些微粒间通过一定的作用力彼此结合。例如，氯化钠、氧化镁是由阴、阳离子构成的；氯气是由许多氯分子聚集而成的，每个氯分子是由两个氯原子结合而成的；金刚石是由许多碳原子彼此结合形成的。那么，微粒间的这些相互作用具有什么特点？我们看到的物质为什么外在形态和功能有所差异？



图 5-10 氯化钠



图 5-11 氧化镁



图 5-12 氯气



图 5-13 金刚石



目标预览

通过本单元内容的学习，要求同学们努力达到：

能从宏观与微观结合的视角对微粒间作用力进行分类；能根据物质的微观结构，预测物质可能具有的典型特征；能从物质的微观结构说明同类物质的共性和不同类物质性质的差异及其原因。

通常我们把物质中直接相邻的原子或离子之间存在的强烈的相互作用叫作**化学键**（chemical bond）。离子键和共价键是两种常见的化学键。

离子键



温故知新

在氯化钠和氧化镁的形成过程中，钠、镁原子失去电子，氯、氧原子得到电子，它们通过电子转移分别形成阳离子和阴离子而彼此结合。

哪类元素的原子能以这种方式相结合？这种结合方式与它们的原子结构有什么关系？

活泼金属与活泼非金属化合时，由于活泼金属的原子容易失去其最外层上的电子形成阳离子，活泼非金属的原子容易获得电子形成阴离子，它们之间可以通过电子转移，分别形成阳离子和阴离子，阴、阳离子间通过静电作用形成NaCl、MgO等化合物。上述化合物中，阴、阳离子之间存在的强烈的相互作用，称为**离子键**（ionic bond）。我们把由阴、阳离子构成的化合物称为**离子化合物**（ionic compound）。

例如，钠原子与氯原子形成氯化钠的过程中，钠原子最外层的一个电子转移至氯原子的最外层，使得两者最外电子层都形成了具有8个电子的稳定结构（图5-14）。为了方便表示原子、离子的最外层电子的排布，我们可以在元素符号周围用“·”或“×”来表示原子、离子的最外层电子，这种式子称为**电子式**。用电子式还可以表示离子化合物的组成，见表5-8。

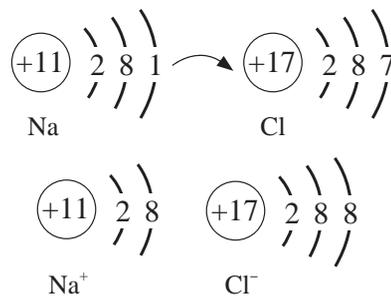


图 5-14 钠原子和氯原子间通过电子转移形成离子键

表 5-8 原子、离子、离子化合物的电子式表示实例

原子	离子	离子化合物
$\text{Na}\cdot$ $:\ddot{\text{Cl}}:$	Na^+ $:\ddot{\text{Cl}}:^-$	$\text{Na}^+ [\ddot{\text{Cl}}:]^-$
$\text{Mg}:$ $:\ddot{\text{F}}:$	Mg^{2+} $:\ddot{\text{F}}:^-$	$[\ddot{\text{F}}:]^- \text{Mg}^{2+} [\ddot{\text{F}}:]^-$

共价键

我们知道，氯气、氯化氢都是由分子构成的物质。两个氯原子可以结合成一个氯分子，一个氯原子和一个氢原子可以结合成一个氯化氢分子。非金属元素的原子吸引电子的能力相近，原子间无法通过得失电子形成离子键。那么它们是如何结合在一起的呢？这种情况下，原子间共用最外层上的电子，形成共用电子对，以达到稳定的电子层结构，共用电子对同时受到两个原子核的吸引。像这样，原子间通过共用电子对形成的强烈的相互作用称为**共价键**（covalent bond）。

原子之间全部以共价键结合的分子叫作**共价分子**（covalent molecule）。用电子式也可以表示共价分子，如氯化氢分子、水分子可分别用电子式表示为 $\text{H}:\ddot{\text{Cl}}:$ 、 $\text{H}:\ddot{\text{O}}:\text{H}$ 。

交流讨论



当氯原子和氢原子结合成氯化氢分子，氧原子和氢原子结合成水分子时，原子间是如何形成共用电子对的？

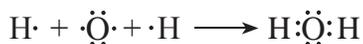


图 5-15 水分子中共价键的形成

在 HCl 、 H_2O 分子中，各原子最外电子层都达到了最多能容纳的电子数，形成了稳定的电子层结构。

以共价键结合的两个原子间形成的共用电子对，可能超过一对。如氮分子中两个氮原子间有三对共用电子对，可用电子式表示为 $:\text{N}:::\text{N}:$ 。两个氮原子结合成氮分子时，氮原子最外电子层形成了具有8个电子的稳定结构。

学以致用



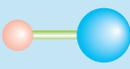
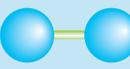
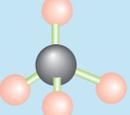
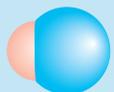
NH_3 分子中氮原子与氢原子之间是如何通过共用电子对结合的？请写出 NH_3 的电子式。

除了电子式外，我们还可以用结构式表示共价分子。在结构式中，原子间的一条短线表示一对共用电子对，如H—Cl、H—O—H、N≡N等。

HCl、H₂、Cl₂、H₂O、CH₄、CO₂等分子中直接相邻的原子间均以共价键相结合。其中，像HCl、H₂O、CH₄、CO₂这样的化合物属于**共价化合物**（covalent compound）。

共价分子中各原子间有一定的连接方式，分子有一定的空间结构。可以用球棍模型、空间填充模型表示共价分子的空间结构。

表 5-9 几种物质的电子式、结构式、球棍模型和空间填充模型

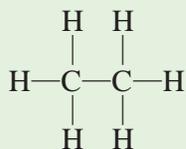
物质	HCl	Cl ₂	H ₂ O	NH ₃	CH ₄
电子式	$\text{H}:\ddot{\text{Cl}}:$	$:\ddot{\text{Cl}}:\ddot{\text{Cl}}:$	$\text{H}:\ddot{\text{O}}:\text{H}$	$\text{H}:\ddot{\text{N}}:\text{H}$ H	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \text{H}:\ddot{\text{C}}:\text{H} \\ \text{H} \end{array}$
结构式	H—Cl	Cl—Cl	H—O—H	$\begin{array}{c} \text{H}-\text{N}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$
球棍模型					
空间填充模型					

碳元素位于元素周期表第二周期ⅣA族，原子的最外层有4个电子。在化学反应中，碳原子既不易失去电子，也不易得到电子，通常与其他原子以共价键相结合。

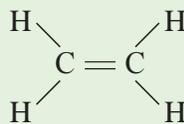


观察思考

观察图5-16中几种含碳化合物的结构式，分析各化合物分子中每个碳原子能形成几个共价键，碳原子之间是怎样连接的。



乙烷 (C₂H₆)



乙烯 (C₂H₄)



乙炔 (C₂H₂)

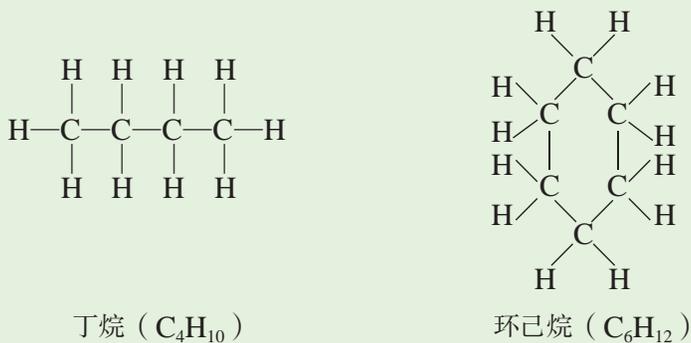


图 5-16 几种含碳化合物的结构式

由图5-16可知，一个碳原子可以形成四对共用电子对，两个碳原子之间可以通过一对、两对或三对共用电子对相结合，分别构成碳碳单键、碳碳双键或碳碳三键。碳原子之间可以通过共价键彼此结合形成碳链，也可以连接形成碳环。碳原子间连接方式的多样性，是有机化合物种类繁多的原因之一。

分子间作用力

温故知新



我们知道，干冰升华、硫晶体熔化、液氯汽化都要吸收能量。物质从固态转变为液态或气态，或从液态转变为气态，为什么要吸收能量？在降低温度、增加压强时，氯气、二氧化碳等气体能够从气态凝结成液态或固态。这些现象给我们什么启示？



图 5-17 干冰

许多事实证明，分子间存在着将分子聚集在一起的作用力，这种作用力称为**分子间作用力**（intermolecular force）。分子间作用力比化学键弱得多。由分子构成的物质，分子间作用力是影响物质熔、沸点和溶解性的重要因素之一。例如，在常温下，氯、溴、碘单质分别呈气态、液态和固态，这与它们的分子间作用力大小有关。

拓展视野

氢键

研究表明，在有些分子之间还存在一种特殊的分子间作用力，称为**氢键**（hydrogen bond）。它比一般的分子间作

用力强。如水分子间的氢键，是一个水分子中的氢原子与另一个水分子中的氧原子之间所形成的分子间作用力，氢键的存在导致水的熔、沸点较高。在冰晶体中，水分子间形成的氢键比液态水中多，导致冰的微观结构中出现较大的空隙，因此，相同温度下冰的密度比水小。

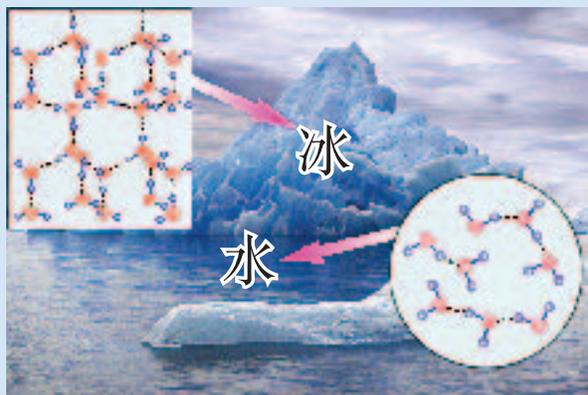


图 5-18 液态水、冰晶体中的氢键（虚线表示）

生命体内许多大分子中存在氢键。氢键对维持生物大分子的空间结构和生理活性具有重要意义。例如，生物的遗传基因本质上就是DNA（脱氧核糖核酸）分子中的碱基顺序，而DNA的双螺旋结构是由两条DNA大分子的碱基（图5-19中的A、T、C、G）通过氢键形成配对的。DNA分子中的氢键在遗传信息的编码和复制等遗传机制中也扮演着相当重要的角色。

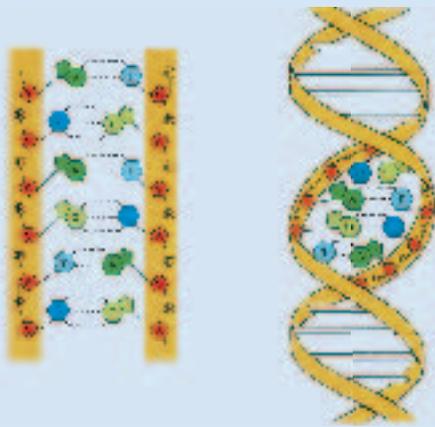


图 5-19 DNA分子中碱基通过氢键配对

物质中微粒间作用力的类型与物质性质有着密切关系。例如，干冰中二氧化碳分子间作用力弱，吸热即升华为二氧化碳气体，二氧化碳分子中碳原子和氧原子之间以共价键结合，作用力强，所以二氧化碳分子在加热条件下不易发生分解。又如，在氯化钠晶体中， Na^+ 与 Cl^- 以离子键结合，作用力强，在高温熔融状态下才能形成自由移动的离子，具有导电性。

微粒间作用力模型的应用价值

学科提炼



为了探索物质微粒间广泛存在的相互作用力，科学家从熟悉的典型物质入手（如氯化钠、氯化氢、水等），提出了化学键模型（如离子键、共价键等）和分子间作用力模型等，从微观层面描述了这些作用力的特征，从理论上形成了各类化学键和分子间作用力的概念及一定的适用范围。这些微粒间作用力模型相对简单和理想化，有助于解释一些简单的实验事实。

从微粒间作用力的理想模型出发，可以帮助我们进一步认识大量物质中存在的复杂的作用力（如介于离子键和共价键之间的特殊化学键；生物大分子含有离子键、共价键和氢键等），提出新的化学键理论，并预测其可能具有的性质。这也说明理想模型在指导科学实践过程中将不断受到实践的检验，并加以修正和完善。

理解应用

1. 下列化学用语中，正确的是（ ）

A. 氯分子的电子式：Cl : Cl

B. 氮分子的结构式：N—N

C. 溴化钠的电子式：Na : $\ddot{\text{Br}}$:

D. 水分子的电子式：H : $\ddot{\text{O}}$: H

2. 离子键和共价键通常是在哪些元素原子之间形成的？请判断下列物质的电子式是否正确，并说明理由。



3. 请依据氧、氟、氢、钾原子的结构特点和化学键形成的基本原理，分析氧化钾、氟化氢中存在的化学键，并尽可能多地写出这些元素形成的离子化合物和共价化合物的化学式。

4. 比较氢分子、氯分子、氮分子的电子式，三种分子中每个原子最外电子层是否都具有8电子的稳定结构？

5. 请根据图5-16中乙烷、乙烯、乙炔的结构式，分别写出它们的电子式。

6. NaF是牙膏中的一种常见成分，可以预防龋齿。请分析NaF属于离子化合物还是共价化合物，并写出它的电子式。

7. ① 水在电解条件下生成氢气和氧气；② 水受热汽化成水蒸气；③ 水在1 000 ℃以上可以分解成氢气和氧气。上述过程中吸收的能量主要用于使化学键断裂的是_____；仅用于克服分子间作用力的是_____。（填序号）

第三单元 从微观结构看物质的多样性

当我们面对丰富多彩的物质世界时，不知你是否想过：至今人类发现的元素仅百余种，为什么却能形成数千万种不同的物质？科学家的探索告诉我们，只有深入研究物质的微观结构，才能更好地认识物质的多样性，并利用已有的物质创造出更多性能优异的新物质，以满足现代文明的各种需要，不断提高人类的生活质量。



目标预览

通过本单元内容的学习，要求同学们努力达到：

能构建微观结构与物质多样性之间的联系；能依据物质的微观结构特征对物质进行分类；能解释或预测物质具有的一些典型性质。

同素异形现象

物质的结构决定了物质的存在形态和性质。即便是由同种元素组成的单质，若构成单质的原子之间的连接方式不同，就会形成存在形态和性质不同的物质。



交流讨论

研究发现，在一定条件下，金刚石、石墨在纯氧中完全燃烧均只生成二氧化碳气体，它们在一定条件下能相互转化，说明它们都是碳元素的单质。金刚石晶体无色透明，有光泽，十分坚硬，可做装饰品，可用于切割玻璃、花岗岩，可做地质和石油勘探的钻头。石墨呈灰黑色，质地较软，能导电，可做润滑剂和电极等。为什么它们的性质有如此大的差异呢？

碳元素形成的单质不仅有金刚石、石墨，还有富勒烯（fullerene，包括 C_{60} 、 C_{70} 和单层或多层的纳米碳管）等。同一种元素能够形成几种不同的单质，这种现象称为**同素异形现象**（allotropism）。这些单质之间互称为该元素的**同素异形体**（allotrope）。

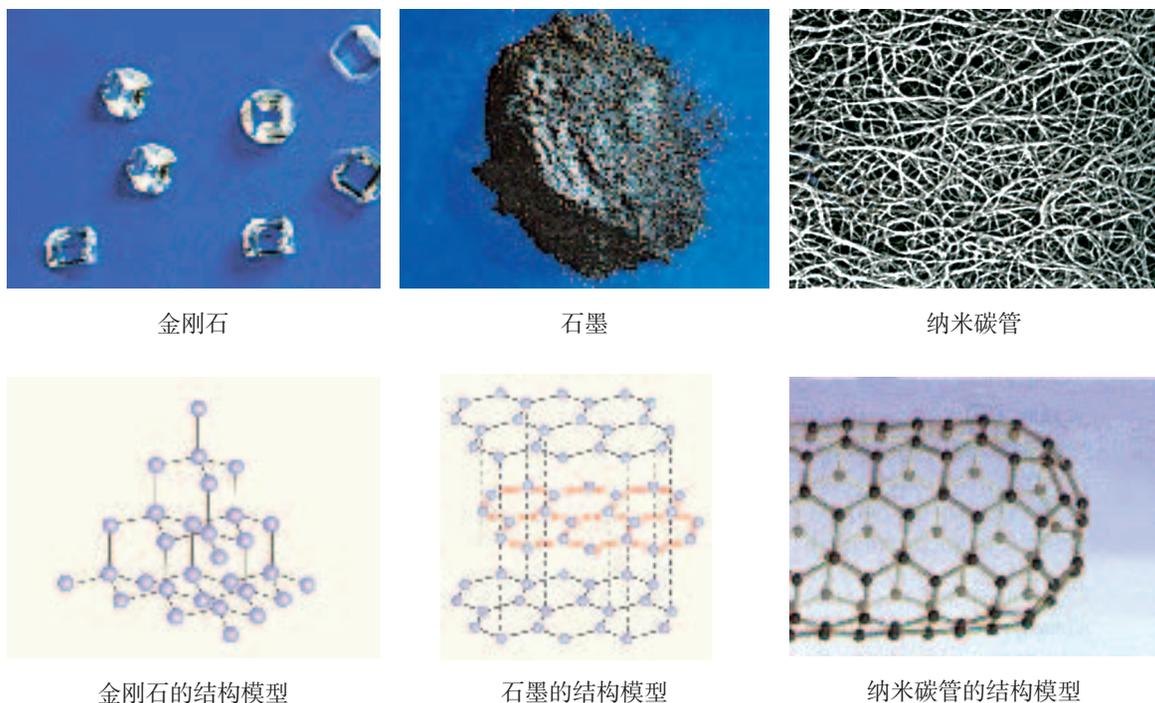


图 5-20 碳的同素异形体

金刚石和石墨晶体中碳原子的成键方式和排列方式均不同。金刚石晶体中每个碳原子与相邻的4个碳原子以共价键结合，形成空间网状结构。而石墨晶体为层状结构，层内碳原子间以共价键结合，每一层内碳原子排列成平面六边形，一个个六边形排列成平面网状结构，层间存在分子间作用力。 C_{60} 是由60个碳原子形成的封闭笼状分子，形似足球，人们又称它为“足球烯”（图5-21）。

碳的另一种同素异形体——石墨烯（graphene），是一种由碳原子构成的二维层状的碳材料（图5-22），是目前最理想的纳米材料之一，是构成其他石墨材料的基本单元。它具有优异的光学、电学、力学特性，在材料学、能源、生物医学和药物传递等方面具有广泛的应用前景。

由氧元素形成的单质氧气和臭氧，由磷元素形成的单质白磷和红磷，均是同素异形体。

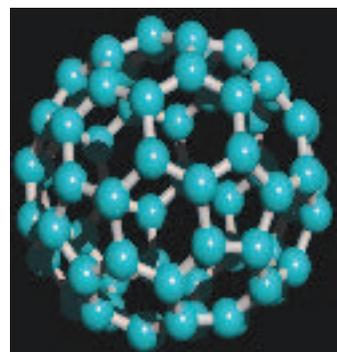


图 5-21 足球烯的结构模型

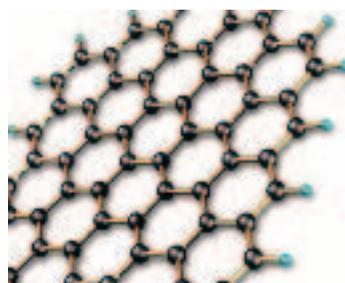


图 5-22 石墨烯的结构模型

拓展视野

臭氧和臭氧层

除碳元素外，氧、硫、磷等元素也存在着同素异形现象。氧气在放电或紫外线照射下能转化为臭氧（ O_3 ）。例如，打雷闪电时，有少量臭氧生成。



臭氧在通常状况下是淡蓝色气体，有鱼腥味，氧化性极强。自然界90%的臭氧集中在离地面15~50 km的大气平流层中，它是由氧气吸收太阳紫外线辐射而生成的。臭氧层能使地球上的生物免受太阳光中紫外线的伤害。20世纪80年代的测量结果表明，臭氧层开始变薄，甚至出现空洞。关于臭氧层被破坏的原因有多种解释，一般认为氟氯烃（氟利昂，广泛用于制冷剂和发泡剂等）的大量使用和喷气式飞机、火箭、导弹将大量废气排放到高空，加速了臭氧分解。保护高空臭氧层是科学研究的重要课题。通过世界各国长期以来的努力，目前臭氧层正在逐渐恢复。

同分异构现象

同种元素可以形成不同的单质。分子式相同的物质，是否也会表现出结构和性质上的差异呢？



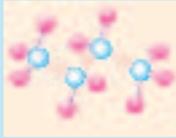
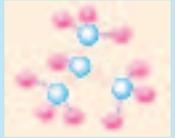
基础实验

学生必做
实验

用不同颜色的小球代表碳、氢原子，用塑料棒代表原子间形成的共价键，依据碳、氢原子形成共价键的特征，制作分子式为 C_4H_{10} 的有机化合物的分子结构模型。你可以制作出几种不同的分子结构模型？

研究表明，分子式同为 C_4H_{10} 的有机化合物有两种——正丁烷和异丁烷，它们的分子结构不同，性质也有差异。

表 5-10 正丁烷和异丁烷

名称	正丁烷	异丁烷
分子式	C_4H_{10}	C_4H_{10}
沸点	$-0.5\text{ }^\circ\text{C}$	$-11.7\text{ }^\circ\text{C}$
结构式	$\begin{array}{cccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ & & & \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\ & & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{ccccc} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \\ & & & & \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{H} & \\ & & & & \\ & \text{H} & & \text{H} & \\ & & & & \\ & \text{H}-\text{C} & & \text{H} & \\ & & & & \\ & \text{H} & & & \end{array}$
球棍模型		

研究发现,某些化合物分子式相同,但性质却有差异,分子结构也不同。化合物具有相同的分子式,但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)。有机化合物中同分异构现象的普遍存在,是有机化合物种类繁多的原因之一。

观察思考

乙醇(沸点为 $78\text{ }^\circ\text{C}$)和二甲醚(沸点为 $-23\text{ }^\circ\text{C}$)互为同分异构体,它们的分子式都是 C_2H_6O 。观察它们的分子结构模型,分析两者间有什么差异。

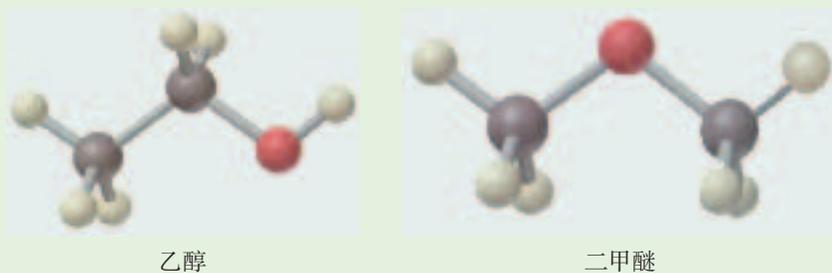
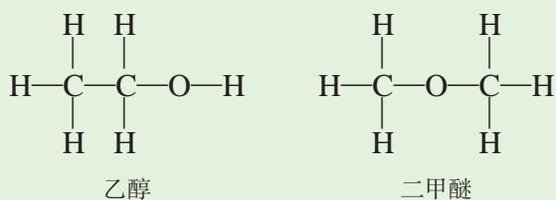
图 5-23 分子组成为 C_2H_6O 的两种有机物的球棍模型

图 5-24 乙醇和二甲醚的结构式

晶体与非晶体

常见的固态物质一般可分为**晶体**（crystal）和**非晶体**（amorphous material）。氯化钠、金刚石、干冰等物质属于晶体，具有规则的几何外形和固定的熔点。石蜡、玻璃、橡胶等物质属于非晶体，它们没有固定的熔点，一般也不具备规则的几何外形。



交流讨论

在日常生活中我们会遇到许多晶体，如金刚石、雪花、水晶等。这些晶体在外观上有什么特点？它们的物理性质（如硬度、熔点、沸点、导电性等）有什么特点？



金刚石



水晶



氯化钠



雪花

图 5-25 几种晶体

用X射线进行晶体的衍射实验时发现，在晶体内部，构成晶体的微粒在空间呈有规则的重复排列。晶体规则的几何外形是其内部构成微粒有规则排列的结果。



拓展视野

常见的几类晶体

在食盐晶体中，带正电的钠离子与带负电的氯离子相互作用，形成了如图5-26所示的立方体结构。像这样由阴、阳离子按一定方式有规则地排列形成的晶体叫作离子晶体（ionic crystal）。

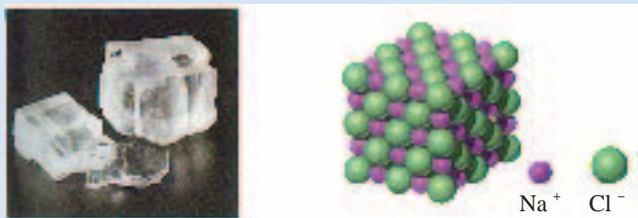


图 5-26 氯化钠晶体及其中离子的排列方式

干冰等由分子构成的物质所形成的晶体属于分子晶体 (molecular crystal)。分子晶体是分子之间依靠分子间作用力按一定规则排列形成的。



图 5-27 干冰晶体及其中二氧化碳分子的排列方式

在石英晶体中，硅原子和相邻的氧原子以共价键结合。每个硅原子和相邻的四个氧原子结合，每个氧原子和相邻的两个硅原子结合，向空间伸展，形成彼此连接的空间网状结构，因此石英晶体中不存在单个分子。金刚石晶体中每个碳原子与相邻的四个碳原子也以共价键结合，形成空间网状结构。像石英、金刚石这样的晶体称为共价晶体 (covalent crystal)。

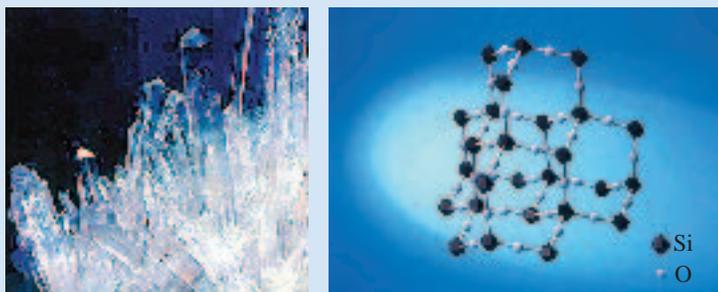


图 5-28 石英晶体及其中硅、氧原子的排列方式

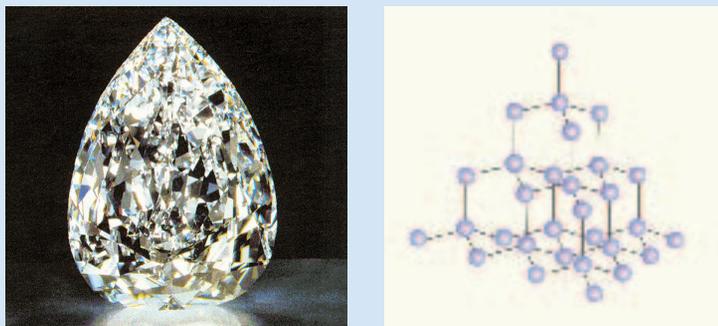


图 5-29 金刚石晶体及其中碳原子的排列方式

此外，还有一类晶体称为金属晶体 (metallic crystal)。金属晶体有共同的物理特性，如有金属光泽，能导电和传热，有延展性等。

跨学科链接

液 晶

液晶 (liquid crystal) 是一种介于晶体和液体之间的中间态物质。液晶兼有液体和晶体的部分性质, 如液体的易流动性、晶态物质分子的有序排列等, 因而表现出一些独特的性质。通常, 只有那些分子较大、分子形状呈长形或碟形的有机化合物, 才易形成液晶态。液晶广泛应用于数码显示、电光学快门、图像显示等方面, 在信息技术领域中占有重要的地位。

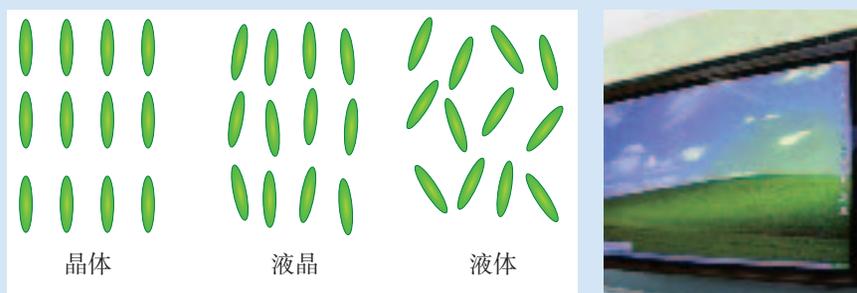


图 5-30 液晶的微观结构图示和液晶显示屏

理解应用

- 下列说法中正确的是 ()
 - SO_2 、 SO_3 互为同分异构体
 - 碘晶体、碘蒸气是同素异形体
 - $^{16}_8\text{O}$ 与 $^{18}_8\text{O}$ 是同素异形体
 - 同素异形体是同种元素形成的不同单质
- 下列说法中正确的是 ()
 - 氯化氢溶于水能电离出 H^+ 、 Cl^- , 所以氯化氢是离子化合物
 - 碘晶体受热转变成碘蒸气, 吸收的热量用于破坏碘原子间的共价键
 - 氧气和臭氧互为同分异构体
 - 有机化合物 $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—NO}_2$ 和 $\text{H}_2\text{N—CH}_2\text{—COOH}$ 互为同分异构体

3. 下列有关碳及其化合物的说法中，正确的是（ ）

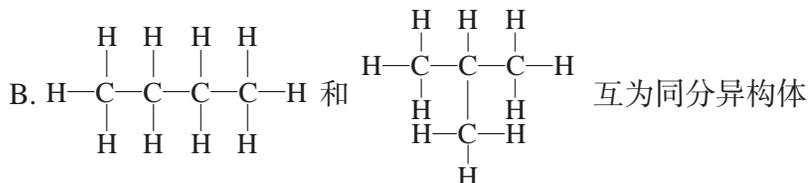
- A. 干冰与 CO_2 气体互为同素异形体
- B. ^{12}C 、 ^{13}C 、 ^{14}C 是碳元素的3种同素异形体
- C. 通过改变碳原子排列方式可实现石墨转化为金刚石
- D. 石墨和石墨烯都是碳元素形成的单质，性质完全相同

4. 下列关于晶体和非晶体的说法中，正确的是（ ）

- A. 晶体常温下呈固态，非晶体常温下均为液态
- B. 晶体硬度大，非晶体都很柔软
- C. 晶体和非晶体均有固定的熔点
- D. 构成晶体的微粒在空间呈有规则的重复排列

5. 下列说法中错误的是（ ）

- A. 水与过氧化氢互为同分异构体

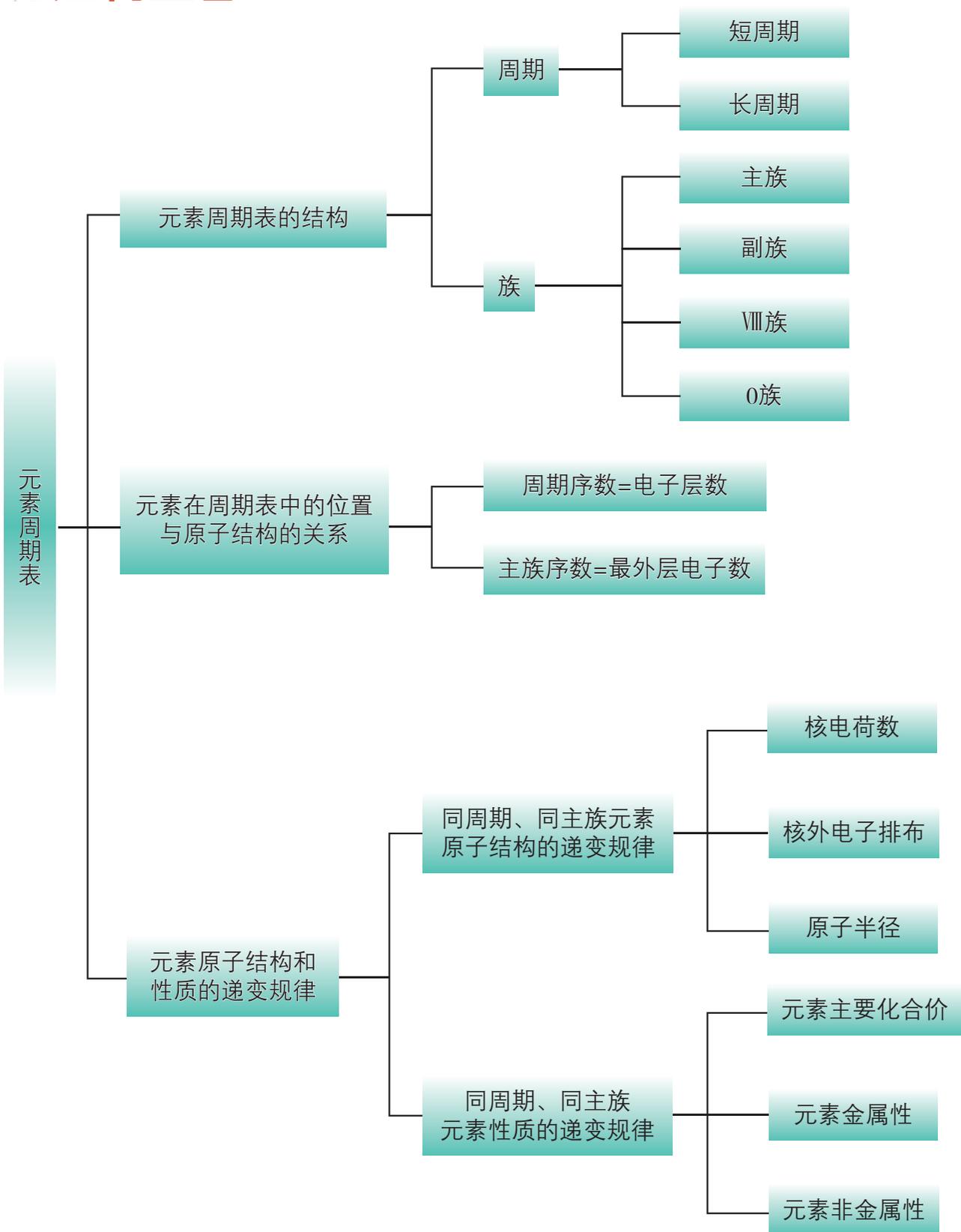


- C. 同分异构体的性质有差异，是因为它们的分子结构不同
- D. 同分异构现象是有机化合物种类繁多的原因之一

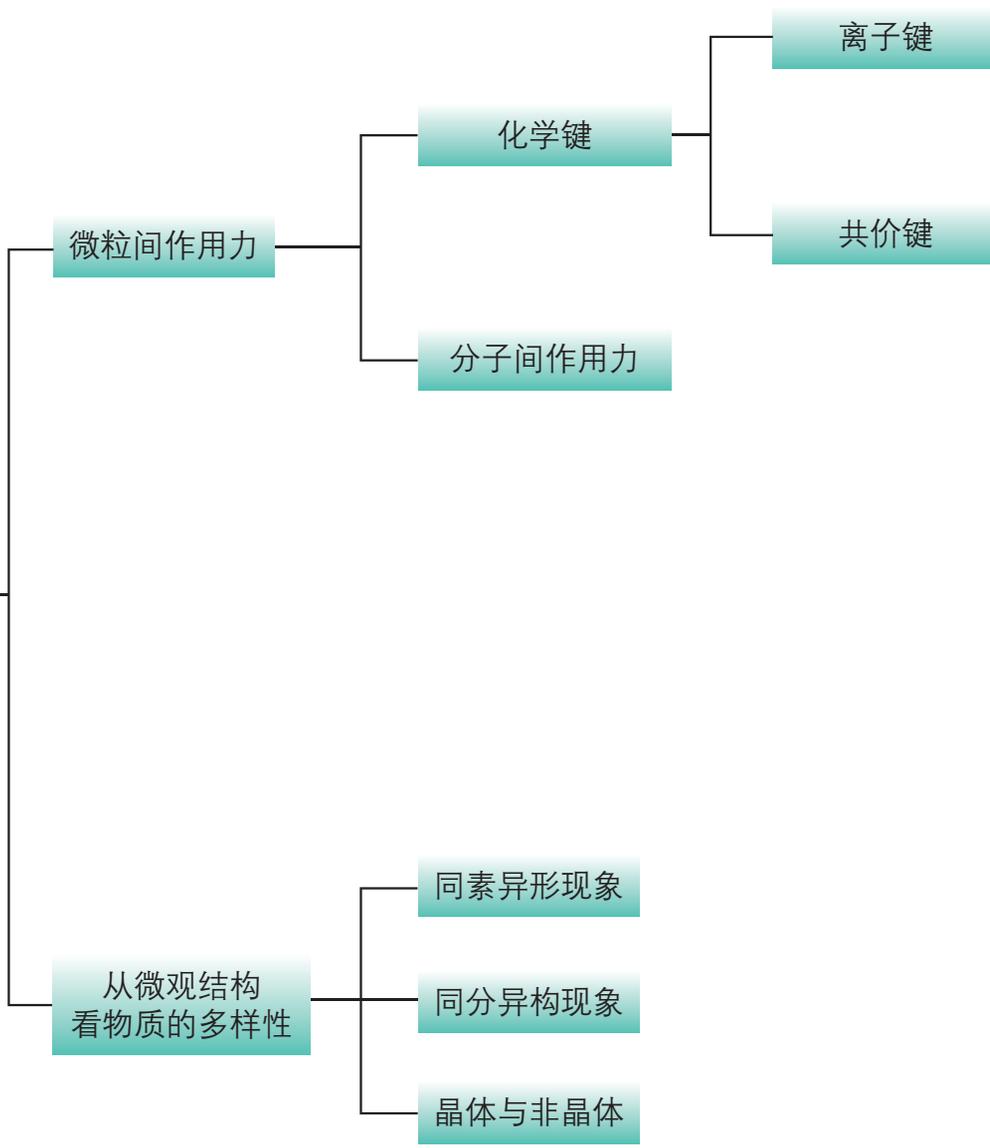
6. 请结合具体实例，从微观结构的角度说明为什么已发现的元素只有100多种，而由它们组成的物质却种类繁多？

7. 查阅有关资料，说明石墨和金刚石在生产、生活中的应用与它们性质间的关系。

建构整合



微观结构与物质的多样性



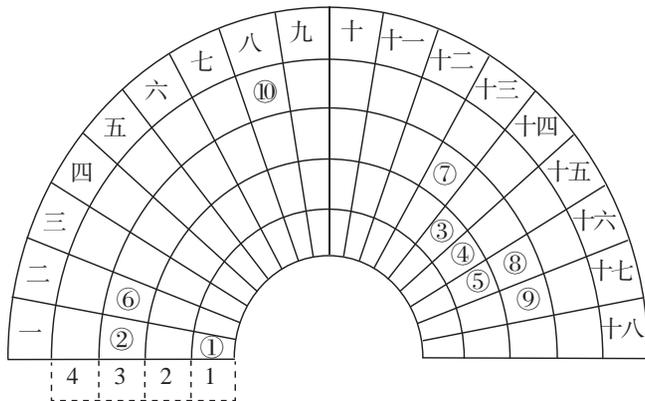
回顾与总结

 请参照下列问题或线索，回顾和总结本专题的学习内容。

- ✓ 什么是元素周期律？元素性质呈现周期性变化的本质原因是什么？
- ✓ 熟悉元素周期表的结构，举例说明在元素周期表中同周期元素、同主族元素性质的递变规律。
- ✓ 碱金属包含哪些元素？它们有什么典型的特点？
- ✓ 卤族包含哪些元素？它们有什么典型的特点？
- ✓ 元素周期表中金属、非金属的位置有何特点？
- ✓ 举例说明位于金属、非金属分界线附近的元素的特点及应用。
- ✓ 元素周期表有哪些具体的应用？请结合实例加以说明。
- ✓ 化学键有哪些常见的类型？举例说明它们是怎样形成的。
- ✓ 举例说明如何用电子式表示离子化合物和共价化合物。
- ✓ 什么是分子间作用力？举例说明分子间作用力与化学键有什么区别。
- ✓ 举出碳的两种同素异形体，从组成、微观结构、性质、用途等角度说明同素异形体之间的异同点。
- ✓ 什么是同分异构现象？试结合实例说明什么是同分异构体。
- ✓ 何为晶体？试举例说明晶体与非晶体的区别。

综合评价

1. 元素周期表的形式多种多样，下图是扇形元素周期表的一部分（1~36号元素）。对比中学常见元素周期表，思考扇形元素周期表的填充规律，下列说法中正确的是（ ）



- A. ②⑧⑨对应简单离子的半径依次减小
 B. ⑥的金属性比⑦的弱
 C. 元素⑩位于常见元素周期表第四周期Ⅷ族
 D. ①分别与③④⑤形成的简单化合物热稳定性依次减弱

2. 已知溴原子结构示意图为 $(+x) \begin{array}{c} 2 \\ 8 \\ 18 \\ 7 \end{array}$ 。

- (1) 溴元素的原子序数为_____。
 (2) 溴元素的原子在反应中易_____（填“得”或“失”）_____个电子，表现出_____性。
 (3) 溴元素的最高化合价为_____，最低化合价为_____。
 (4) 溴元素的非金属性_____（填“强”或“弱”）于氯元素的非金属性。
 (5) 写出氯元素、溴元素最高价氧化物的水化物的化学式并比较它们的酸性强弱。

3. 类推法是科学学习的重要方法之一。下表提供的是ⅥA族元素的部分性质。请结合元素周期律完成下列问题：

元素	${}_8\text{O}$	${}_{16}\text{S}$	${}_{34}\text{Se}$	${}_{52}\text{Te}$
单质熔点 / $^{\circ}\text{C}$	-218.4	113 (斜方硫)	x	450
单质沸点 / $^{\circ}\text{C}$	-183	444.6 (斜方硫)	685	1 390
主要化合价	-2	-2、+4、+6	-2、+4、+6	
原子半径	逐渐增大			
单质与 H_2 反应的情况	点燃时易化合	加热化合	加热时难化合	不能直接化合

- (1) 硒的熔点 (x) 范围可能是_____。
- (2) 碲的主要化合价可能有_____。
- (3) 硫的非金属性比硒_____。
- (4) 在 H_2S 、 H_2Se 、 H_2Te 三种氢化物中, 热稳定性最强的是_____。

4. 有A、B、C三种元素, 已知B和A形成的化合物BA中A的化合价为-1, B和C可形成化合物 B_2C , A、B、C离子的核外电子总数都是18。

- (1) 写出各元素的符号: A_____、B_____、C_____。
- (2) 写出A单质与B的最高价氧化物的水化物反应的化学方程式: _____。

5. 依据原子结构与元素周期表的知识, 回答下列问题。

- (1) 比较原子半径大小: 硫原子与氧原子、硫原子与磷原子。
- (2) 比较下列物质的酸性强弱: 硝酸 (HNO_3) 与磷酸 (H_3PO_4)、硫酸 (H_2SO_4) 与高氯酸 (HClO_4)。
- (3) 比较硫与氢气、氯气与氢气反应的剧烈程度。

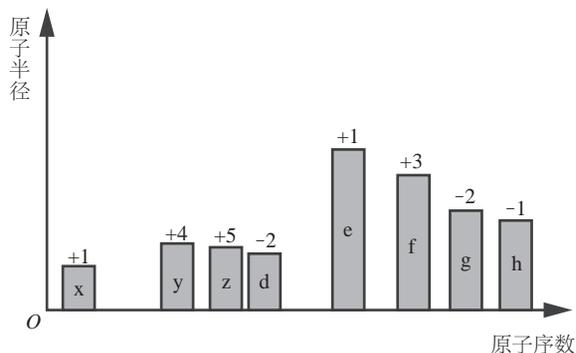
6. 有下列物质: ① Cl_2 、② HCl 、③ MgO 、④ NaF 、⑤ NaOH 、⑥ N_2 、⑦ NH_3 、⑧ CH_4 。

- (1) 请写出①④⑤⑧中的化学键类型。
- (2) 分别写出②③⑥⑦的电子式。
- (3) 上述8种物质中, 属于离子化合物的是_____, 属于共价化合物的是_____。

7. 随着原子序数的递增, 8种短周期元素(用字母表示)原子半径的相对大小、最高正化合价或最低负化合价的变化如右图所示。

请回答下列问题:

- (1) f 在元素周期表中的位置是_____。
- (2) 比较d、e简单离子的半径大小: _____ > _____。比较g、h的最高价氧化物的水化物的酸性强弱: _____ > _____。(用化学式表示, 下同)



- (3) d、g的单质分别与x的单质化合时, 较容易的是_____, 形成的化合物热稳定性较差的是_____。

(4) y元素的原子间连接方式多样, 两个原子间可通过共用电子对形成_____键、_____键或_____键; 多个原子之间可以通过共价键彼此结合形成_____, 也可以连接形成_____, 这也是有机化合物种类繁多的原因之一。

- (5) 任选上述元素形成一种四原子共价化合物, 写出其电子式: _____。

附录 I 相对原子质量表

(按照元素符号的字母次序排列)

元素		相对原子质量	元素		相对原子质量	元素		相对原子质量
符号	名称		符号	名称		符号	名称	
Ac	锕	[227]	Ge	锗	72.64(1)	Po	钋	[209]
Ag	银	107.868 2(2)	H	氢	1.007 94(7)	Pr	镨	140.907 65(2)
Al	铝	26.981 538(2)	He	氦	4.002 602(2)	Pt	铂	195.078(2)
Am	镅	[243]	Hf	铪	178.49(2)	Pu	钷	[244]
Ar	氩	39.948(1)	Hg	汞	200.59(2)	Ra	镭	[226]
As	砷	74.921 60(2)	Ho	钬	164.930 32(2)	Rb	铷	85.467 8(3)
At	砹	[210]	Hs	𨨿	[277]	Re	铼	186.207(1)
Au	金	196.966 55(2)	I	碘	126.904 47(3)	Rf	𨨩	[261]
B	硼	10.811(7)	In	铟	114.818(3)	Rg	𨨪	[281]
Ba	钡	137.327(7)	Ir	铱	192.217(3)	Rh	铑	102.905 50(2)
Be	铍	9.021 182(3)	K	钾	39.098 3(1)	Rn	氡	[222]
Bh	𨭻	[264]	Kr	氪	83.798(2)	Ru	钌	101.07(2)
Bi	铋	208.980 38(2)	La	镧	138.905 5(2)	S	硫	32.065(5)
Bk	𨭽	[247]	Li	锂	6.941(2)	Sb	锑	121.760(1)
Br	溴	79.904(1)	Lu	镥	174.967(1)	Sc	钪	44.955 910(8)
C	碳	12.010 7(8)	Lr	𨭪	[262]	Se	硒	78.96(3)
Ca	钙	40.078(4)	Lv	𨭫	[293]	Sg	𨭮	[266]
Cd	镉	112.411(8)	Mc	𨭬	[289]	Si	硅	28.085 5(3)
Ce	铈	140.116(1)	Md	镅	[258]	Sm	钐	150.36(3)
Cf	锎	[251]	Mg	镁	24.305 0(6)	Sn	锡	118.710(7)
Cl	氯	35.453(2)	Mn	锰	54.938 049(9)	Sr	锶	87.62(1)
Cm	锔	[247]	Mo	钼	95.94(2)	Ta	钽	180.947 9(1)
Cn	𨭩	[285]	Mt	𨭯	[268]	Tb	铽	158.925 34(2)
Co	钴	58.933 200(9)	N	氮	14.006 7(2)	Tc	锝	[98]
Cr	铬	51.996 1(6)	Na	钠	22.989 770(2)	Te	碲	127.60(3)
Cs	铯	132.905 45(2)	Nb	铌	92.906 38(2)	Th	钍	232.038 1(1)
Cu	铜	63.546(3)	Nd	钕	144.24(3)	Ti	钛	47.867(1)
Db	𨭻	[262]	Ne	氖	20.179 7(6)	Tl	铊	204.383 3(2)
Ds	𨭼	[281]	Nh	𨭺	[286]	Tm	铥	168.934 21(2)
Dy	镝	162.500(1)	Ni	镍	58.693 4(2)	Ts	𨭽	[293]
Er	铒	167.259(3)	No	𨭮	[259]	U	铀	238.028 91(3)
Es	𨭻	[252]	Np	镎	[237]	V	钒	50.941 5(1)
Eu	铕	151.964(1)	O	氧	15.999 4(3)	W	钨	183.84(1)
F	氟	18.998 403 2(5)	Og	𨭮	[294]	Xe	氙	131.293(6)
Fe	铁	55.845(2)	Os	锇	190.23(3)	Y	钇	88.905 85(2)
Fl	𨭻	[289]	P	磷	30.973 761(2)	Yb	镱	173.04(3)
Fm	𨭼	[257]	Pa	镤	231.035 88(2)	Zn	锌	65.409(4)
Fr	𨭽	[223]	Pb	铅	207.2(1)	Zr	锆	91.224(2)
Ga	镓	69.723(1)	Pd	钯	106.42(1)			
Gd	钆	157.25(3)	Pm	钷	[145]			

- 注：1. 相对原子质量源自2013年国际原子量表，以 $^{12}\text{C} = 12$ 为基准。
 2. 相对原子质量加方括号的为放射性元素的半衰期最长的同位素的质量数。
 3. 相对原子质量末尾的不确定度加注在其后的括号内。

附录 II 常见酸、碱和盐的溶解性表 (20 °C)

阳离子	阴离子				
	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	难	难
Ca ²⁺	微	溶	溶	微	难
Mg ²⁺	难	溶	溶	溶	微
Al ³⁺	难	溶	溶	溶	-
Mn ²⁺	难	溶	溶	溶	难
Zn ²⁺	难	溶	溶	溶	难
Fe ²⁺	难	溶	溶	溶	难
Fe ³⁺	难	溶	溶	溶	-
Cu ²⁺	难	溶	溶	溶	-
Ag ⁺	-	溶	难	微	难

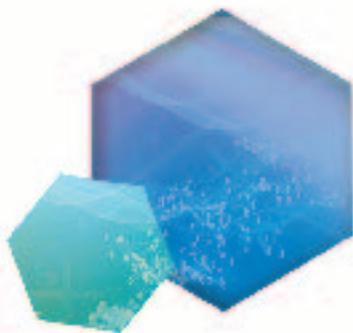
说明：“溶”表示那种物质可溶于水，“难”表示难溶于水，“微”表示微溶于水，“挥”表示挥发性，“-”表示那种物质不存在或遇到水就分解了。

附录Ⅲ 中英文名词对照表

碱性氧化物	basic oxide	4
酸性氧化物	acid oxide	4
氧化还原反应	oxidation-reduction reaction	7
物质的量	amount of substance	9
摩尔质量	molar mass	11
相对原子质量	relative atomic mass	11
相对分子质量	relative molecular mass	11
气体摩尔体积	molar volume of gas	14
分散系	dispersion system	17
分散质	dispersate	17
分散剂	dispersant	17
胶体	colloid	17
丁达尔效应	Tyndall effect	19
电解质	electrolyte	20
电离	ionization	20
电离方程式	ionization equation	20
非电解质	non-electrolyte	20
蒸馏	distillation	31
分液	separate	31
萃取	extraction	31
焰色反应	flame test	34
物质的量浓度	molarity	38
原子核	nucleus	46
电子	electron	46
质子	proton	46
中子	neutron	46

氕	protium	46
氘	deuterium	46
氚	tritium	46
核素	nuclide	46
同位素	isotope	47
氯气	chlorine gas	60
次氯酸	hypochlorous acid	61
钠	sodium	68
强电解质	strong electrolyte	74
弱电解质	weak electrolyte	74
离子反应	ionic reaction	75
离子方程式	ionic equation	75
镁	magnesium	81
碘	iodine	82
二氧化硫	sulfur dioxide	91
硫酸	sulfuric acid	93
三氧化硫	sulfur trioxide	93
钝化	passivation	96
硫酸钙	calcium sulfate	96
硫酸钡	barium sulfate	97
重晶石	barite	97
硫酸亚铁	ferrous sulfate	97
酸雨	acid rain	103
空气质量指数	Air Quality Index	105
雾霾	fog and haze	106
原子序数	atomic number	114
元素周期律	periodic law of the elements	119
元素周期表	periodic table	119
周期	period	121

族	group	121
碱金属	alkali metal	121
卤素	halogen	121
化学键	chemical bond	127
离子键	ionic bond	128
离子化合物	ionic compound	128
共价键	covalent bond	129
共价分子	covalent molecule	129
共价化合物	covalent compound	130
分子间作用力	intermolecular force	131
氢键	hydrogen bond	131
富勒烯	fullerene	135
同素异形现象	allotropism	135
同素异形体	allotrope	135
石墨烯	graphene	135
同分异构现象	isomerism	137
同分异构体	isomer	137
晶体	crystal	138
非晶体	amorphous material	138
离子晶体	ionic crystal	138
分子晶体	molecular crystal	139
共价晶体	covalent crystal	139
金属晶体	metallic crystal	139
液晶	liquid crystal	140



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

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

《普通高中教科书·化学》（必修）立足初中基础，着眼于发展学生的化学学科核心素养，突出化学核心概念、思想观念的统领作用。教材尝试通过各种方法激发学生的学习兴趣，帮助学生打下扎实的化学知识基础，认识化学的本质，初步学会收集证据进行分析推理，提高科学探究的能力。教材创设了一系列情境，帮助学生较为全面地认识化学、技术、社会与环境之间的相互关系，为学生形成严谨求实的科学态度和科学价值观提供基础。

《普通高中教科书·化学》（必修）分第一册、第二册。第一册由王祖浩教授任主编，吴星教授任副主编，参与编写、修改的有王祖浩、吴星、吕琳、陈进前、史定海、刘宝剑、曹坤、王峰、周佳伟等同志，全书由王祖浩教授、吴星教授定稿。

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

苏教版高中化学教材编写组

2020年6月

元素周期表

族/周期	IA	IIA	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	0										
1	1 H 氢 1.008							2 He 氦 4.003										
2	3 Li 锂 6.941	4 Be 铍 9.012		5 B 硼 10.81	6 C 碳 12.01	7 N 氮 14.01	8 O 氧 16.00	9 F 氟 19.00	10 Ne 氖 20.18									
3	11 Na 钠 22.99	12 Mg 镁 24.31		13 Al 铝 26.98	14 Si 硅 28.09	15 P 磷 30.97	16 S 硫 32.07	17 Cl 氯 35.45	18 Ar 氩 39.95									
4	19 K 钾 39.10	20 Ca 钙 40.08	21 Sc 钪 44.96	22 Ti 钛 47.87	23 V 钒 50.94	24 Cr 铬 52.00	25 Mn 锰 54.94	26 Fe 铁 55.85	27 Co 钴 58.93	28 Ni 镍 58.69	29 Cu 铜 63.55	30 Zn 锌 65.41	31 Ga 镓 69.72	32 Ge 锗 72.64	33 As 砷 74.92	34 Se 硒 78.96	35 Br 溴 79.90	36 Kr 氪 83.80
5	37 Rb 铷 85.47	38 Sr 锶 87.62	39 Y 钇 88.91	40 Zr 锆 91.22	41 Nb 铌 92.91	42 Mo 钼 95.94	43 Tc 锝 [98]	44 Ru 钌 101.1	45 Rh 铑 102.9	46 Pd 钯 106.4	47 Ag 银 107.9	48 Cd 镉 112.4	49 In 铟 114.8	50 Sn 锡 118.7	51 Sb 锑 121.8	52 Te 碲 127.6	53 I 碘 126.9	54 Xe 氙 131.3
6	55 Cs 铯 132.9	56 Ba 钡 137.3	57-71 La-Lu 镧系 镧系	72 Hf 铪 178.5	73 Ta 钽 180.9	74 W 钨 183.8	75 Re 铼 186.2	76 Os 锇 190.2	77 Ir 铱 192.2	78 Pt 铂 195.1	79 Au 金 197.0	80 Hg 汞 200.6	81 Tl 铊 204.4	82 Pb 铅 207.2	83 Bi 铋 209.0	84 Po 钋 [209]	85 At 砹 [210]	86 Rn 氡 [222]
7	87 Fr 钫 [223]	88 Ra 镭 [226]	89-103 Ac-Lr 锕系 镧系	104 Rf 钿 [261]	105 Db 𬬻 [270]	106 Sg 𬬼 [269]	107 Bh 𬬽 [270]	108 Hs 𬬾 [270]	109 Mt 𬬿 [278]	110 Ds 𬬟 [281]	111 Rg 𬬠 [281]	112 Cn 𬬡 [285]	113 Nh 𬬢 [286]	114 Fl 𬬣 [289]	115 Mc 𬬤 [289]	116 Lv 𬬥 [293]	117 Ts 𬬦 [293]	118 Og 𬬧 [294]

原子序数 — 元素符号, 红色
为放射性元素

元素名称
注: * 能自发
产生元素

16.00 — 氧

16.00 — 相对原子质量

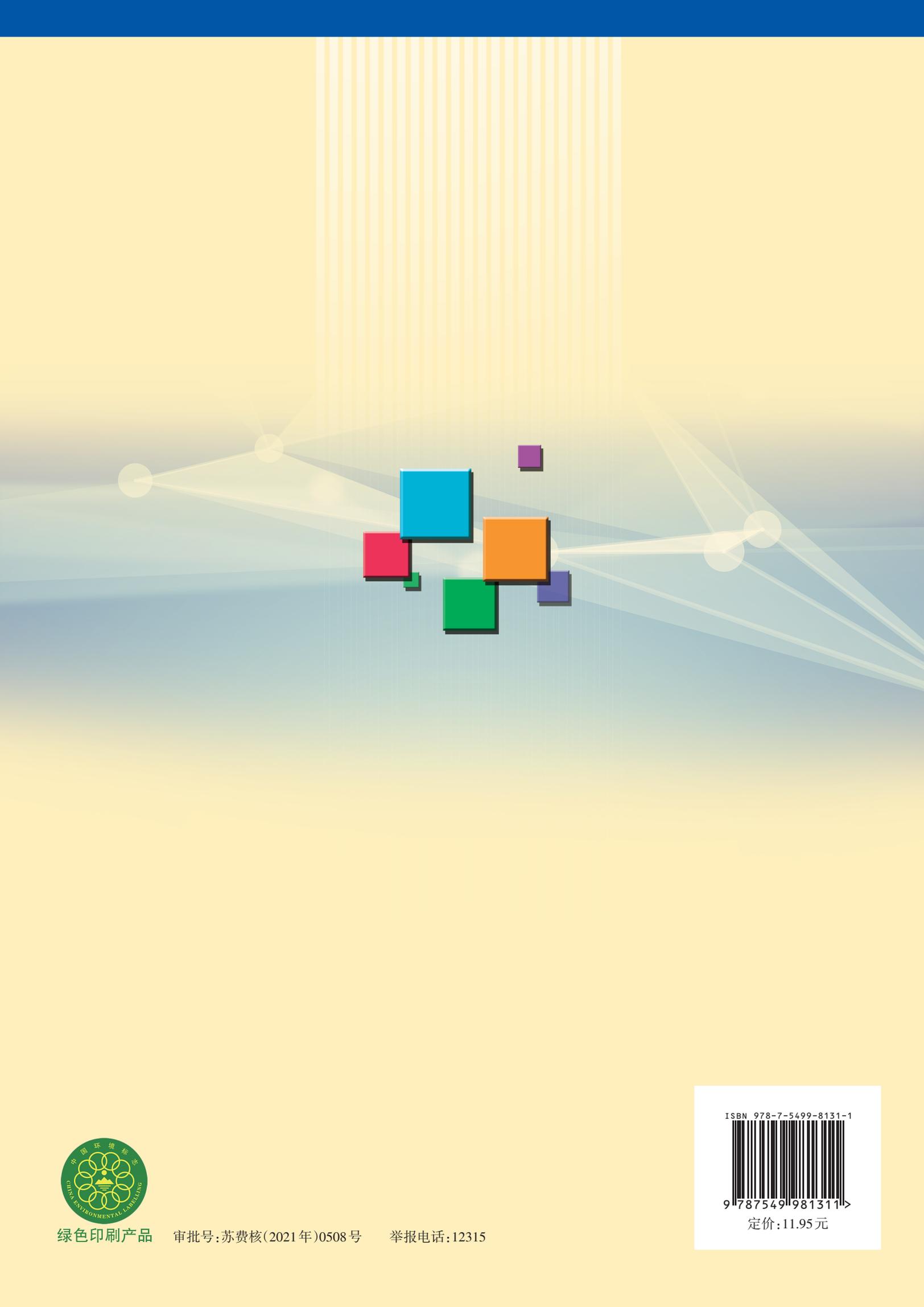
非金属

金属

过渡元素

1. 相对原子质量引自国际纯粹与应用化学联合会 (IUPAC) 相对原子质量表 (2013), 并全部取4位有效数字。
2. 相对原子质量加括号的为放射性元素的半衰期最长的同位素的质量数。

57 La 镧 138.9	58 Ce 铈 140.1	59 Pr 镨 140.9	60 Nd 钕 144.2	61 Pm 钷 [145]	62 Sm 钐 150.4	63 Eu 铕 152.0	64 Gd 钆 157.3	65 Tb 铽 158.9	66 Dy 镝 162.5	67 Ho 铥 164.9	68 Er 铒 167.3	69 Tm 铥 168.9	70 Yb 镱 173.0	71 Lu 镥 175.0
89 Ac 锕 [227]	90 Th 钍 232.0	91 Pa 镤 231.0	92 U 铀 [238.03]	93 Np 镎 [237]	94 Pu 钚 [244]	95 Am 镅 [243]	96 Cm 锔 [247]	97 Bk 锫 [247]	98 Cf 锿 [251]	99 Es 镄 [252]	100 Fm 镆 [257]	101 Md 钎 [258]	102 No 铈 [259]	103 Lr 铷 [262]



绿色印刷产品

审批号:苏费核(2021年)0508号

举报电话:12315

ISBN 978-7-5499-8131-1



9 787549 981311 >

定价:11.95元

YOUJ
365优教
大学生共享家教联盟

致力于用榜样的力量提升学生成绩的共享家教平台

中国家庭教育学会荣誉会员单位

985/211 大学生 1对1 上门辅导

找家教就像叫“代驾”一样简单
家长们都在偷偷用的家教预约神器

记得拍照留存哦



扫码关注 预约上门

关注送200元优惠券

小初高全科辅导

学霸云集任您挑

学历真实可担保



与优秀大学生同行，激发孩子无限潜能



微信搜索公众号：365优教网

咨询热线：4000-711-365

YOUJ 优教

既是找老师，更是找榜样

家教老师全国招募中