

# 2025 版高中化学所有知识点考点总结与归纳（2025 版）

1. 内容权威：以最新版《普通高中教科书》（鲁科版）为蓝本编写，同时参考最新版《普通高中教科书》（人教版）、《普通高中化学课程标准》（教育部）。
2. 表述规范：文字叙述、化学用语、图片、排版等尽量与教材一致。
3. 针对性强：区分“合格考”和“等级考”，结合历年真题取舍知识点，重要考点以“注意”模块置于正文之后。
4. 宁简勿繁：只选取最核心知识，做题时够用即可，在解题过程中自然能够总结出的经验和注意事项不作为知识点呈现。新高考题目灵活多变，死记他人的经验容易导致思维僵化，徒增记忆负担。
5. 实时更新：根据高考政策的变化实时更新，结合高考真题和教学中的反馈每年更新一版。

第 1 部分 化学科学的形成与发展	1
一、近代化学的里程碑	1
二、我国科学家对化学的贡献	1
第 2 部分 物质的量	1
一、物质的量	1
二、摩尔质量	1
三、气体摩尔体积	1
四、物质的量浓度	2
第 3 部分 物质的分类	3
一、元素的存在形态	3
二、物质的分类	3
三、胶体	3
第 4 部分 离子反应	5
一、电解质和非电解质	5
二、强电解质和弱电解质	5
三、离子反应	5
第 5 部分 氧化还原反应	6
一、氧化还原反应	6
二、常见的氧化剂和还原剂	6
三、氧化还原反应的规律	6
第 6 部分 原子结构 元素周期律	7
一、原子的构成	7
二、元素周期律	8
三、元素周期表	9
四、焰色试验	9
五、元素周期表的应用	9
第 7 部分 化学反应规律	11
一、化学键与物质构成	11
二、化学反应与能量转化	12
三、化学电池	13
四、化学反应的快慢	13
五、化学反应的限度	13
第 8 部分 金属及其化合物	15

一、钠 .....	15
二、铁 .....	17
三、镁 .....	18
四、铝 .....	18
五、铜 .....	19
六、金属材料 .....	19
第 9 部分 非金属及其化合物 .....	20
一、氯 .....	20
二、硫 .....	23
三、氮 .....	25
四、硅 .....	28
五、无机非金属材料 .....	29
第 10 部分 有机化合物 .....	30
一、有机化合物 .....	30
二、有机化合物的一般性质 .....	30
三、碳原子的成键特点 .....	30
四、甲烷 .....	31
五、官能团 .....	32
六、同分异构现象和同分异构体 .....	32
七、石油的炼制 .....	33
八、乙烯 .....	33
九、煤的干馏 .....	34
十、苯 .....	34
十一、有机高分子化合物与有机高分子材料 .....	35
十二、乙醇 .....	35
十三、乙酸 .....	36
十四、糖类 .....	38
十五、油脂 .....	39
十六、蛋白质 .....	39
第 11 部分 化学实验 .....	40
一、常用化学仪器 .....	40
二、实验基本操作 .....	41
三、试剂的存放及实验安全 .....	43
四、物质的分离和提纯 .....	46
五、气体的制备和收集 .....	47
六、气体的净化与尾气处理 .....	48
第 12 部分 化学反应的热效应（选修） .....	49
一、化学反应的反应热 .....	49
二、化学反应的内能变化与焓变 .....	49
三、热化学方程式 .....	49
四、燃烧热与中和热 .....	50
五、反应焓变的计算 .....	50
第 13 部分 电化学（选修） .....	51

一、原电池.....	51
二、化学电源.....	51
三、电解池.....	52
四、电解原理的应用.....	53
五、金属的腐蚀与防护.....	55
第 14 部分 化学反应的方向、限度与速率 (选修) .....	56
一、化学反应的方向.....	56
二、化学平衡常数.....	56
三、反应条件对化学平衡的影响.....	56
四、勒·夏特列原理.....	57
五、化学反应的速率.....	57
六、化学反应条件的优化——工业合成氨.....	58
七、气体的分压.....	59
第 15 部分 物质在水溶液中的行为 (选修) .....	60
一、水的电离.....	60
二、电解质在水溶液中的存在形态.....	60
三、水溶液的酸碱性与 pH.....	60
四、弱电解质的电离平衡.....	60
五、盐类的水解.....	61
六、沉淀溶解平衡.....	63
七、酸碱中和滴定.....	63
第 16 部分 物质结构与性质 (选修) .....	65
一、原子核外电子排布原理.....	65
二、原子结构与元素性质.....	67
三、共价键.....	68
四、分子的空间结构.....	69
五、分子的性质.....	70
六、离子键、配位键与金属键.....	70
七、分子间作用力.....	71
八、晶体常识.....	72
九、晶体的组成和性质.....	72
第 17 部分 有机化学基础 (选修) .....	76
一、有机化合物的分类.....	76
二、有机物的命名.....	77
三、同分异构体.....	78
四、脂肪烃.....	79
五、芳香烃.....	80
六、卤代烃.....	81
七、醇、酚.....	82
八、醛.....	84
九、羧酸.....	86
十、油脂、糖类、蛋白质.....	87
十一、有机物分子式、结构式的确定方法.....	90

十二、合成有机高分子 .....	91
附录 .....	92
1. 部分酸、碱和盐的溶解性表（室温） .....	92
2. 无机物的基本性质 .....	93
3. 无机方程式 .....	95
4. 常见反应归类 .....	98
5. 无机物知识总结 .....	101
6. 有机化合物的化学性质 .....	102
7. 有机物的性质比较（选修） .....	103
8. 有机方程式（选修） .....	105
9. 元素周期表 .....	107

## 第 1 部分 化学科学的形成与发展

### 一、近代化学的里程碑

1661 年，波义耳提出化学元素的概念，标志着近代化学的诞生。

1774 年，拉瓦锡提出燃烧的氧化学说。

1803 年，道尔顿提出原子论。

1811 年，阿伏加德罗提出分子学说。

1869 年，门捷列夫发现元素周期律。

### 二、我国科学家对化学的贡献

1943 年，侯德榜发明联合制碱法。

1965 年，我国科学家合成具有生物活性的蛋白质——结晶牛胰岛素。

2015 年，屠呦呦因发现青蒿素获得诺贝尔生理学或医学奖。

## 第 2 部分 物质的量

### 一、物质的量

1. 概念：一种物理量，表示含有一定数目粒子的集合体，符号为  $n$ 。

2. 单位：摩尔，简称摩，符号为  $\text{mol}$ 。

3. 阿伏加德罗常数：

1  $\text{mol}$  任何粒子的粒子数叫做阿伏加德罗常数，符号为  $N_A$ ，约为  $6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ 。

4. 关系式：
$$n = \frac{N}{N_A}$$

### 二、摩尔质量

1. 定义：单位物质的量的物质所具有的质量叫做摩尔质量 ( $M$ )。

2. 单位： $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$  或  $\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

3. 任何物质的摩尔质量以  $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$  为单位时，数值上都等于它的相对原子质量或相对分子质量。

4. 表达式：
$$M = \frac{m}{n}$$

### 三、气体摩尔体积

1. 定义：一定温度和压强下，单位物质的量的气体所占有的体积叫做气体摩尔体积 ( $V_m$ )。

2. 单位： $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$  或  $\text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$

3. 标准状况 (STP, 指  $0\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $101\text{ kPa}$  的状况) 下，气体摩尔体积约为  $22.4\text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

4. 表达式：
$$V_m = \frac{V}{n}$$

【注意】

$$n = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M} = \frac{V}{V_m}$$

1. 物质的量可以把宏观量（如质量、体积）与微观量（如数目）联系起来；
2. 决定物质体积大小的因素：粒子数目、粒子的大小、粒子之间的距离。
3. 决定 1 mol 固体、液体体积大小的因素：粒子的大小。
4. 决定 1 mol 气体体积大小的因素：粒子之间的距离。
5. 阿伏加德罗定律

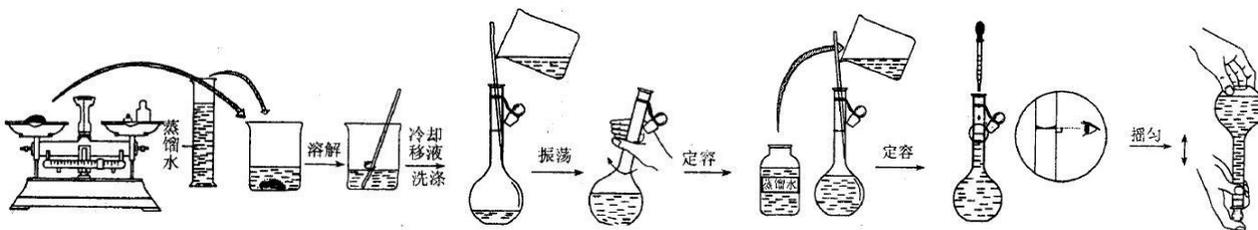
(1) 内容：同温、同压下，相同体积的任何气体都含有相同数目的分子。 $\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{n_1}{n_2}$

(2) 推论：①同温、同压下： $\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{M_1}{M_2} = D$ （相对密度）

②同温、同体积下： $\frac{p_1}{p_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{n_1}{n_2}$

#### 四、物质的量浓度

1. 定义：单位体积溶液中所含溶质 B 的物质的量叫做溶质 B 的物质的量浓度（ $c_B$ ）。
2. 单位： $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $\text{mol}\cdot\text{m}^{-3}$  或  $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$
3. 表达式： $c_B = \frac{n_B}{V}$
4. 配制一定物质的量浓度的溶液（以配制 100 mL 1 mol/L NaCl 溶液为例）
  - (1) 仪器：天平、药匙、烧杯、玻璃棒、100 mL 容量瓶、胶头滴管
  - (2) 步骤：计算→称量→溶解→转移→洗涤→定容→摇匀



#### 【注意】

1. 溶液稀释前后： $c_1V_1 = c_2V_2$
2. 物质的量浓度与质量分数的转换： $c = \frac{1000\rho\omega}{M}$ （ $\rho$ 单位为 $\text{g}/\text{cm}^3$ ）
3. 容量瓶
  - (1) 容量瓶常用规格：100 mL、250 mL、500 mL、1000 mL。
  - (2) 容量瓶只用于配制溶液，不能用作反应容器或盛装药品。
  - (3) 使用前，需检验容量瓶是否漏液。
  - (4) 溶液注入容量瓶前需恢复到常温。

## 第3部分 物质的分类

### 一、元素的存在形态

元素以单质形式存在时，称为元素的游离态；以化合物形式存在时，称为元素的化合态。

#### 【注意】

C、N、O、S、Fe 在自然界中有游离态存在，Na、Mg、Al、Si、P、Cl 等无游离态。

### 二、物质的分类



氧化物可以分为酸性氧化物、碱性氧化物、两性氧化物等。

酸性氧化物：能跟碱反应生成盐和水，多数非金属氧化物属于酸性氧化物。

碱性氧化物：能跟酸反应生成盐和水，多数金属氧化物属于碱性氧化物。

两性氧化物：既能跟酸反应生成盐和水，又能跟碱反应生成盐和水，如  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 。

#### 【注意】

1. 碱和盐不一定含金属元素 ( $\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{NH}_4\text{Cl}$ )。

2. 碱性氧化物一定是金属氧化物，金属氧化物不一定是碱性氧化物 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Mn}_2\text{O}_7$ 、 $\text{Na}_2\text{O}_2$ )，酸性氧化物不一定是非金属氧化物 ( $\text{Mn}_2\text{O}_7$ )，非金属氧化物不一定是酸性氧化物 ( $\text{CO}$ 、 $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$ )。

3. 酸性氧化物、碱性氧化物不一定能与水反应生成对应的酸、碱 ( $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  等)。

### 三、胶体

1. 分散系：由一种（或几种）物质分散到另一种物质里形成的混合物统称为分散系。

2. 分散系由分散质（分散成粒子的物质）和分散剂（粒子分布在其中的物质）组成，依据分散质粒子的直径来分类，可分为溶液、浊液和胶体。

分散系	溶液	胶体	浊液
分散质粒子的直径	$<1\text{nm}$	$1\text{nm}\sim 100\text{nm}$	$>100\text{nm}$
外观	均一、透明	较均一、透明	不均一、不透明
分散质微粒	分子、离子	大量分子集合体、高分子	大量分子集合体
能否透过滤纸	能	能	不能
能否透过半透膜	能	不能	不能
稳定性	稳定	较稳定	不稳定
实例	食盐水、碘酒	$\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 胶体、 $\text{AgI}$ 胶体、 $\text{H}_2\text{SiO}_3$ 胶体、淀粉溶液、肥皂水、豆浆、墨水、血液、有色玻璃、烟水晶、云、雾、烟	泥水

### 3. 胶体的性质

(1) 丁达尔现象：让光线照射胶体时，从垂直入射光线的方向可以观察到胶体里有一条光亮的“通路”，这种现象叫做丁达尔现象或丁达尔效应。

(2) 电泳：胶体中的分散质粒子在电场的作用下，做定向移动的现象称为电泳。

(3) 聚沉：胶体形成沉淀析出的现象称为聚沉。加热、搅拌、加入酸碱盐或带相反电荷的胶体粒子都会引起聚沉。

### 4. 渗析

利用半透膜（如动物肠衣、鸡蛋壳膜、羊皮纸、胶棉薄膜、玻璃纸等）分离胶体中的杂质分子或离子，提纯、精制胶体的方法称为渗析。

### 5. $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体的制备

(1) 原理：
$$\text{FeCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\Delta} \text{Fe}(\text{OH})_3 (\text{胶体}) + 3\text{HCl}$$

(2) 方法：用洁净的烧杯取少量蒸馏水，用酒精灯加热至沸腾，向烧杯中逐滴加入  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{FeCl}_3$  溶液，至液体呈透明的红褐色。

#### 【注意】

1. 胶体、溶液、浊液的本质区别：分散质粒子的直径不同。
2. 可用丁达尔现象区分溶液和胶体。
3. 胶体粒子因吸附离子而带电；胶体不显电性。
4. 向  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  胶体中逐滴加入过量的盐酸，先沉淀后溶解（聚沉、中和）。
5.  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  胶体制备时，搅拌、液体呈红褐色后继续加热或继续滴加  $\text{FeCl}_3$  溶液都会引起聚沉。
6. 以下现象或操作均与胶体有关：
  - ①明矾  $[\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}]$  净水： $\text{Al}^{3+}$  水解产生的  $\text{Al}(\text{OH})_3$  胶体能够吸附水中的杂质。
  - ②卤水点豆腐、三角洲的形成、 $\text{FeCl}_3$  止血、不同品牌的墨水不能混用都与胶体的聚沉有关。
  - ③土壤保肥：土壤胶粒带负电，吸附肥料中的阳离子（ $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{K}^+$ ）。
  - ④工业静电除尘：电泳。
  - ⑤血液透析：渗析。

## 第4部分 离子反应

### 一、电解质和非电解质

1. 电解质：在水溶液中或熔融状态下能够导电的化合物称为电解质，包含酸、碱、盐、水。
2. 非电解质：在水溶液中和熔融状态下都不能导电的化合物称为非电解质。
3. 电离：溶于水或受热熔化时解离成能够自由移动的离子的过程称为电离。

### 二、强电解质和弱电解质

1. 强电解质：在水溶液中能完全电离的电解质称为强电解质，包含强酸（ $\text{H}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{HNO}_3$ 、 $\text{HCl}$ 、 $\text{HBr}$ 、 $\text{HI}$ 、 $\text{HClO}_4$ ）、强碱[ $\text{KOH}$ 、 $\text{NaOH}$ 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ]、大部分盐等。
2. 弱电解质：在水溶液中部分电离的电解质称为弱电解质，包含弱酸、弱碱、水。

#### 【注意】

1. 电解质都属于化合物，盐酸、氨水、 $\text{Cu}$ 、 $\text{Cl}_2$ 等单质或混合物既不是电解质也不是非电解质。
2. 电解质只在水溶液里或熔融状态下导电。

### 三、离子反应

1. 定义：有离子参与的化学反应称为离子反应。
2. 复分解反应都属于离子反应，反应生成难溶的物质（沉淀）、难电离的物质（弱酸、弱碱、水）或挥发性的物质（气体），导致离子浓度降低，反应才能发生。

#### 3. 离子方程式的书写

易溶于水且易电离的物质（强酸、强碱、可溶性盐）写成离子形式，其它物质写化学式。

#### 4. 离子检验

$\text{SO}_4^{2-}$ ：先加盐酸酸化，再加  $\text{BaCl}_2$  溶液。

$\text{Cl}^-$ ：稀硝酸和  $\text{AgNO}_3$  溶液。

#### 5. 食盐的精制

从精食盐水中除去  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ ，分别使用  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{NaOH}$ 、 $\text{BaCl}_2$  三种溶液（加入  $\text{BaCl}_2$  溶液后再加  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液）。

#### 【注意】

#### 1. 离子反应的分类

- (1) 复分解反应：结合生成沉淀、气体、水、弱酸、弱碱。如  $\text{NH}_4^+$  与  $\text{OH}^-$ 。
  - (2) 氧化还原反应，如  $\text{Cl}_2$  与  $\text{Fe}^{2+}$ 。
  - (3) 双水解反应，如  $\text{Al}^{3+}$  与  $\text{HCO}_3^-$ 。
  - (4) 络合反应，如  $\text{Fe}^{3+}$  与  $\text{SCN}^-$  反应。
2. 离子共存：能相互反应的离子不能大量共存。

## 第 5 部分 氧化还原反应

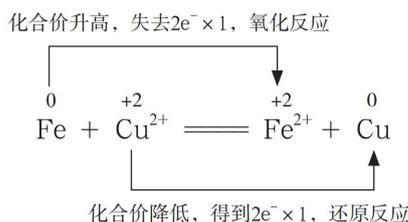
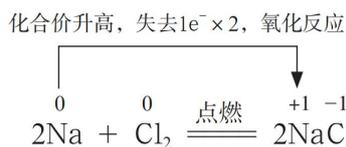
### 一、氧化还原反应

1. 特征：有元素化合价变化。
2. 实质：有电子转移。

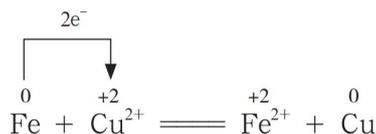
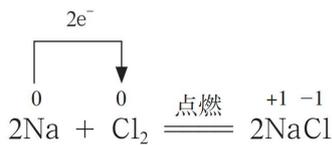
氧化剂（表现氧化性）—化合价降低—得电子—被还原—发生还原反应—还原产物；  
还原剂（表现还原性）—化合价升高—失电子—被氧化—发生氧化反应—氧化产物。

### 3. 表示方法

#### (1) 双线桥法



#### (2) 单线桥法



### 二、常见的氧化剂和还原剂

#### 1. 常见的氧化剂

$\text{O}_2$ 、 $\text{Cl}_2$ 、 $\text{Br}_2$ ；浓  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{HNO}_3$ 、酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液、 $\text{KClO}_3$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ ； $\text{HClO}/\text{ClO}^-$ 、 $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Na}_2\text{O}_2$ 。

#### 2. 常见的还原剂

$\text{Na}$ 、 $\text{Al}$ 、 $\text{Fe}$ ； $\text{I}^-$ 、 $\text{H}_2\text{S}/\text{HS}^-/\text{S}^{2-}$ ； $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{SO}_3/\text{HSO}_3^-/\text{SO}_3^{2-}$ 。

### 三、氧化还原反应的规律

1. 电子守恒规律：得电子总数 = 失电子总数 = 转移电子数
2. 强制弱规律

氧化性：氧化剂 > 氧化产物

还原性：还原剂 > 还原产物

#### 【注意】

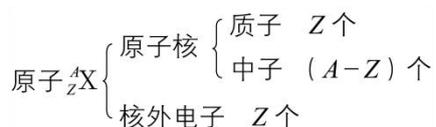
陌生氧化还原离子方程式按照电子守恒、电荷守恒、质量守恒的顺序配平，如：

1. 紫色酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液与  $\text{KI}$  溶液反应变成棕黄色： $2\text{MnO}_4^- + 10\text{I}^- + 8\text{H}^+ = 2\text{Mn}^{2+} + 5\text{I}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$
2.  $\text{H}_2\text{O}_2$  使酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液褪色： $5\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{MnO}_4^- + 6\text{H}^+ = 5\text{O}_2\uparrow + 2\text{Mn}^{2+} + 8\text{H}_2\text{O}$
3. 酸性条件下， $\text{H}_2\text{O}_2$  与  $\text{KI}$ -淀粉溶液反应显蓝色： $\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{I}^- + 2\text{H}^+ = \text{I}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

## 第 6 部分 原子结构 元素周期律

### 一、原子的构成

#### 1. 原子的构成



- (1) 原子中：核电荷数 = 质子数 = 核外电子数 = 原子序数  
 (2) 质子数 (Z) + 中子数 (N) = 质量数 (A) ≈ 相对原子质量 (Ar)

#### 2. 核素

(1) 具有相同质子数的同一类原子称为元素；具有相同数目的质子和相同数目的中子的一类原子称为核素。

- (2) 质子数相同而中子数不同的同一种元素的不同核素互为同位素。  
 (3)  ${}^2\text{H}$ 、 ${}^3\text{H}$  可用于制造氢弹； ${}^{235}\text{U}$  是核反应堆的燃料； ${}^{14}\text{C}$  用于考古。

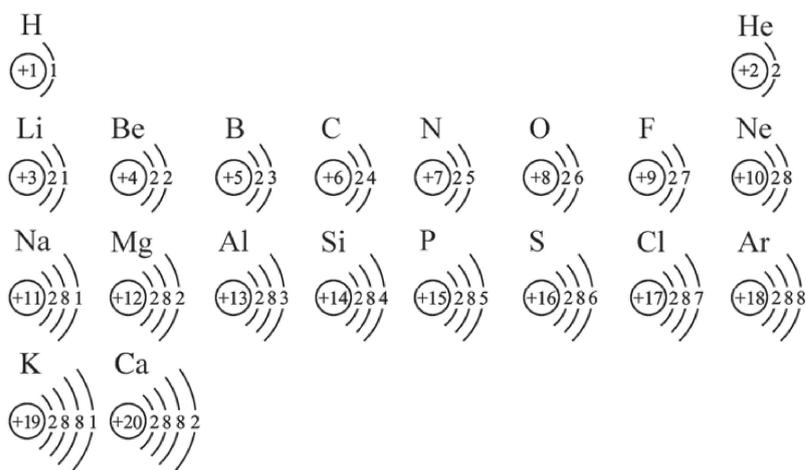
#### 3. 核外电子排布

- (1) 电子在原子核外离核由近及远、能量由低到高的不同电子层上分层排布。  
 (2) 每个电子层最多能容纳  $2n^2$  ( $n$  代表电子层数) 个电子。

电子层	K	L	M	N	O	P	Q
能量	低→高						
电子层数 $n$	1	2	3	4	5	6	7
最多容纳电子数 $2n^2$	2	8	18	32			

(3) 最外层电子数不超过 8 个 (第一层为最外层时不超过 2 个)，次外层不超过 18 个，倒数第三层不超过 32 个。

(4) 核电荷数为 1~20 的元素的原子结构示意图



### 【注意】

1. 元素的种类由质子数决定，核素的种类由质子数和中子数决定。

2. 元素的相对原子质量是其各种核素的相对原子质量分别与各种核素在自然界里的丰度（某种核素在这种元素的所有天然核素中所占的比例）的乘积之和。

## 二、元素周期律

### 1. 粒子半径

电子层数越多，半径越大；

若电子层数相同，质子数越多，半径越小。

### 2. 化合价

最高正化合价=最外层电子数=主族序数；

最高正价 + |最低负价| = 8

(1) O、F 无正价；

(2) 金属无负价；

(3) 元素在最高价氧化物及其水化物中显最高正价，在简单气态氢化物中显最低负价。

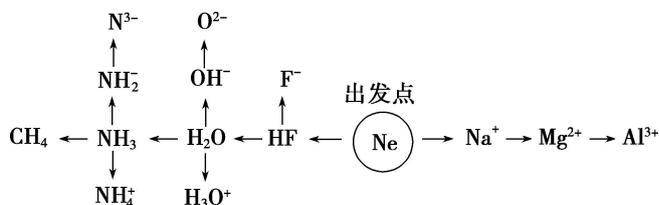
元素	最高价	最低价	最高价氧化物及其水化物		气态氢化物
Na	+1	\	Na <sub>2</sub> O	NaOH	\
Mg	+2	\	MgO	Mg(OH) <sub>2</sub>	\
Al	+3	\	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al(OH) <sub>3</sub>	\
C	+4	-4	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	CH <sub>4</sub>
N	+5	-3	N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	HNO <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub>
O	\	-2	\	\	H <sub>2</sub> O
F	\	-1	\	\	HF
Si	+4	-4	SiO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	SiH <sub>4</sub>
P	+5	-3	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	PH <sub>3</sub>
S	+6	-2	SO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> S
Cl	+7	-1	Cl <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	HClO <sub>4</sub>	HCl

3. 元素的性质随着元素原子序数的递增而呈周期性变化，这个规律叫做元素周期律。

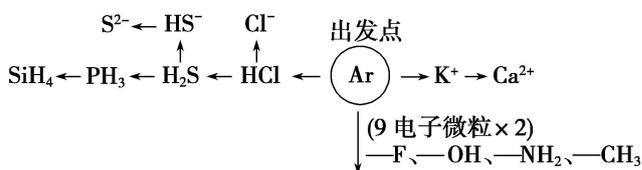
### 【注意】

1. 元素的性质随原子序数递增呈现周期性变化的根本原因：核外电子排布周期性变化。

### 2. “10 电子”微粒



### 3. “18 电子”微粒



$\text{CH}_3\text{—CH}_3$ 、 $\text{H}_2\text{N—NH}_2$ 、 $\text{HO—OH}$ 、 $\text{F—F}$ 、 $\text{F—CH}_3$ 、 $\text{CH}_3\text{—OH}$ .....

### 三、元素周期表

在元素周期表中，横行称为周期，纵列称为族。

#### 1. 周期

(1) 周期序数 = 电子层数

(2) 1、2、3 周期称为短周期，4、5、6、7 周期称为长周期。

#### 2. 族

(1) 元素周期表中共有 18 个纵列。第 8、9、10 三个纵列合称为 VIII 族，第 18 纵列称为 0 族，其余 14 个纵列分为主族和副族。

IA (除 H 外)：碱金属元素

IIA：碱土金属元素

IVA：碳族元素

VA：氮族元素

VIA：氧族元素

VIIA：卤族元素 (卤素)

副族和 VIII 族：过渡元素

(2) 主族序数 = 最外层电子数

#### 【注意】

1. 周期表从左到右的族依次为：IA、IIA、IIIB、IVB、VB、VIB、VIIB、VIII、IB、IIB、IIIA、IVA、VA、VIA、VIIA、0 族。

2. 根据电子排布可知元素在周期表中的位置。如 S 元素：第 3 周期第 VIA 族。

### 四、焰色试验

多种金属或其化合物在灼烧时能使火焰呈现特殊的颜色，这在化学上叫做焰色试验，亦称焰色反应。

锂——深红 钠——黄 钾——浅紫 钙——砖红 锶——洋红 钡——黄绿 铜——蓝绿

### 五、元素周期表的应用

#### 1. 金属性和非金属性

金属性 (元素原子失电子能力)  $\left\{ \begin{array}{l} \text{单质的还原性} \\ \text{单质与水或酸反应置换出氢气的难易程度} \\ \text{最高价氧化物水化物的碱性} \end{array} \right.$

非金属性（元素原子得电子能力）  
┌ 单质的氧化性  
├ 单质结合  $H_2$  的能力/气态氢化物的稳定性  
└ 最高价氧化物水化物的酸性

2. 同周期元素性质的递变规律（不含稀有气体）

从左到右：元素原子半径 $\searrow$ ，失电子能力 $\searrow$ （金属性 $\searrow$ ），得电子能力 $\nearrow$ （非金属性 $\nearrow$ ）

3. 同主族元素性质的递变规律

从上到下：元素原子半径 $\nearrow$ ，失电子能力 $\nearrow$ （金属性 $\nearrow$ ），得电子能力 $\searrow$ （非金属性 $\searrow$ ）

4. 寻找新材料

在金属元素和非金属的交界处寻找半导体材料，在过渡元素中寻找优良的催化剂。

## 第 7 部分 化学反应规律

### 一、化学键与物质构成

#### 1. 化学键与物质变化

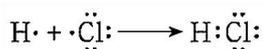
- (1) 相邻原子间的强相互作用称为化学键。
- (2) 化学反应的实质：旧化学键断裂和新化学键形成。

#### 2. 共价键和离子键

- (1) 阴、阳离子之间通过静电作用形成的化学键，叫做离子键。



- (2) 原子之间通过共用电子形成的化学键，叫做共价键。



化学键	共价键	离子键
成键粒子	原子	阴、阳离子
成键方式	共用电子对	静电作用
成键元素	一般为非金属元素	活泼金属元素（或 $\text{NH}_4^+$ ）与活泼非金属元素

#### 3. 离子化合物与共价化合物

由阳离子与阴离子构成的化合物称为离子化合物，由原子通过共价键构成的化合物称为共价化合物。

#### 4. 化学键与物质性质：熔沸点、硬度、稳定性等。

5. 不同元素的两个原子形成的共价键是极性共价键，简称极性键。同种元素的两个原子形成的共价键是非极性共价键，简称非极性键。

#### 6. 电子式

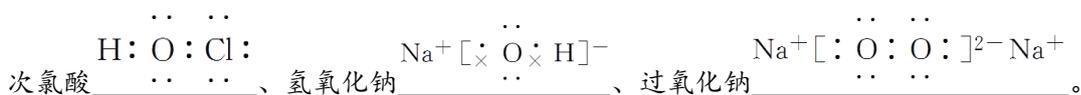
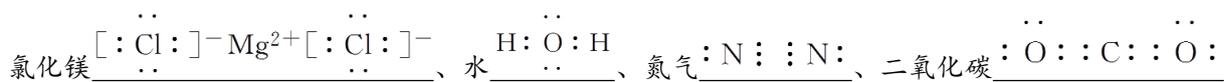
在元素符号周围用“·”（小黑点）或“×”（叉号）表示原子或离子的最外层电子的式子叫做电子式。

##### 【注意】

1. 阴、阳离子的静电作用不只是静电引力。
2. 离子化合物不一定含金属元素( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )。
3. 共价化合物可能含金属元素 ( $\text{AlCl}_3$ ) 。
4. 含有离子键的化合物为离子化合物，只含有共价键的化合物为共价化合物。
5. 常见物质电子式的书写：

氢原子  $\text{H} \cdot$ 、钠原子  $\text{Na} \cdot$ 、氮原子  $\cdot \ddot{\text{N}} \cdot$ 、氯原子  $:\ddot{\text{Cl}}:$ 、镁离子  $\text{Mg}^{2+}$ 、氧离子  $[\ddot{\text{O}}:]^{2-}$

氢氧根离子  $[\ddot{\text{O}}:\text{H}]^-$ 、铵根离子  $[\text{H}:\ddot{\text{N}}:\text{H}]^+$



## 二、化学反应与能量转化

### 1. 能量变化的本质

化学反应过程中，旧键断裂吸收能量，新键形成释放能量，因此，在化学反应中伴随着能量变化。

### 2. 吸热反应和放热反应

#### (1) 定义

吸收热量的化学反应叫做吸热反应，如多数分解反应。

#### (2) 常见的放热反应和吸热反应

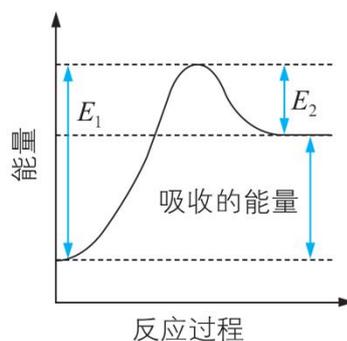
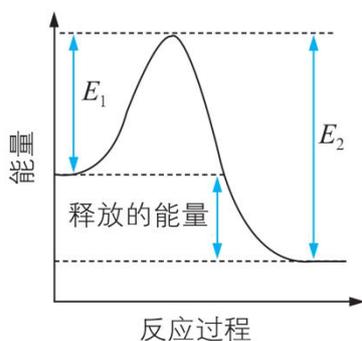
放热反应：多数化合反应、中和反应、金属与水或酸的反应、所有的燃烧反应。

吸热反应：多数分解反应、碳酸氢钠与柠檬酸反应、铵盐与碱反应、 $\text{C}+\text{CO}_2 \xrightleftharpoons{\text{高温}} 2\text{CO}$ 、 $\text{C}+\text{H}_2\text{O} \xrightleftharpoons{\text{高温}}$

$\text{CO}+\text{H}_2$ 、盐类的水解反应。

#### (3) 解释

##### ①化学键角度



注： $E_1$  为破坏旧化学键吸收的能量， $E_2$  为形成新化学键释放的能量。

$$E_1 < E_2$$

放热反应

$$E_1 > E_2$$

吸热反应

##### ②能量角度

反应物的总能量 > 生成物的总能量：放热反应；

反应物的总能量 < 生成物的总能量：吸热反应。

#### 【注意】

1. 同一物质的能量：气态 > 液态 > 固态。
2. 能量越低越稳定。
3.  $\text{NH}_4\text{Cl}$  溶于水吸热， $\text{NaOH}$ 、 $\text{CaO}$ 、碱石灰投入水中放热。

### 三、化学电池

#### 1. 原电池

(1) 定义：将化学能转化为电能的装置称为原电池。

(2) 形成条件

①氧化还原反应；

②两极上的物质得失电子能力不同；

③形成闭合回路（导线作电子导体，电解质作离子导体）。

(3) 工作原理

负极：还原剂失去电子，发生氧化反应；

正极：氧化剂得到电子，发生还原反应。

#### 2. 化学电池的类型

一次电池，如锌锰干电池；二次电池（充电电池），如铅蓄电池、锂离子电池；燃料电池。

#### 【注意】

在原电池中：

(1) 外电路

①电子：负极→正极；

②电流：正极→负极。

(2) 内电路

①阳离子→正极，阴离子→负极； ②电流：负极→正极。

### 四、化学反应的快慢

#### 1. 化学反应速率

反应物 A 表示的化学反应速率： $v(A) = \frac{|\Delta c(A)|}{\Delta t}$

单位： $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  或  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$

#### 2. 影响化学反应速率的因素

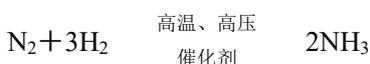
(1) 内因：物质本身的内在性质。

(2) 外因：通常情况下，增加反应物浓度、升高温度、增大反应物之间的接触面积、增大气体压强以及使用催化剂等，可以提高化学反应速率。

### 五、化学反应的限度

#### 1. 可逆反应

在相同条件下同时向正、逆两个方向进行的反应称为可逆反应。比如：



## 2. 化学平衡

在一定条件下可逆反应进行到一定程度时，反应物和生成物的浓度不再随时间的延长而发生变化，正反应速率和逆反应速率相等，这种状态称为化学平衡状态，简称化学平衡。

(1) 化学平衡是一种动态平衡。

(2) 当条件（浓度、温度、压强等）改变时，原来的化学平衡将被破坏，并在新的条件下建立起新的化学平衡，即发生化学平衡的移动。如改变温度，平衡体系  $2\text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$  颜色改变。

### 【注意】

1. 固体、纯液体的浓度不变，不能用来表示速率；增大固体或纯液体的量不会使化学反应速率发生改变。

2. 压强对速率或平衡的影响通过改变浓度起作用，若改变压强时浓度不变，则压强对速率和平衡无影响。如：

向体积不变的密闭容器中通入稀有气体，反应速率不变，平衡也不移动；

向压强不变的容器中通入稀有气体，反应速率减小，平衡也发生移动（所有物质浓度都减小，相当于压强减小）。

3. 下列情况不能说明反应  $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \xrightleftharpoons[\text{催化剂}]{\text{高温、高压}} 2\text{NH}_3$  已达平衡状态（容器体积不变）：

① 生成 1 mol  $\text{N}_2$  的同时生成 3 mol  $\text{H}_2$ ；

②  $3v_{\text{正}}(\text{H}_2) = 2v_{\text{逆}}(\text{NH}_3)$ ；

③ 混合气体的平均密度不再变化；

④ 混合气体中  $\text{N}_2$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{NH}_3$  的浓度之比为 1 : 3 : 2。



1.  $\text{Na}_2\text{O}_2$  中阴阳离子的个数比为 1 : 2。

2.  $\text{Na}_2\text{O}_2$  具有强氧化性，可用于漂白或消毒。

① $\text{Na}_2\text{O}_2$  与  $\text{SO}_2$ 、 $\text{FeCl}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_3$  发生氧化还原反应。

② $\text{Na}_2\text{O}_2$  能使指示剂先变色后褪色，如  $\text{Na}_2\text{O}_2$  加入酚酞溶液：先变红后褪色。

### 3. 碳酸氢钠

化学式	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	$\text{NaHCO}_3$
俗名	纯碱、苏打	小苏打
溶解性	易溶于水	较易溶于水（溶解度较 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 小）
热稳定性	不易分解（不能用作膨松剂）	受热易分解： $2\text{NaHCO}_3 \xrightarrow{\Delta} \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$ （可用作膨松剂）
与 HCl 反应	$\text{Na}_2\text{CO}_3 + 2\text{HCl} = 2\text{NaCl} + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$	$\text{NaHCO}_3 + \text{HCl} = \text{NaCl} + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$ （更剧烈）
与 NaOH 反应	不反应	$\text{NaHCO}_3 + \text{NaOH} = \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
与 $\text{CO}_2$ 反应	$\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{NaHCO}_3$	不反应
用途	用于玻璃、肥皂、造纸、纺织等工业； 洗涤剂	发酵剂、灭火器，医疗上用于治胃酸过多

#### 【注意】

1. 可用互滴法检验  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液和 HCl 溶液。

2. 过量  $\text{CO}_2$  通入下列溶液：

① $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  溶液或  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  溶液：先变浑浊，后变澄清。

② $\text{CaCl}_2$  溶液：不反应。

③饱和碳酸钠溶液：生成沉淀（ $\text{NaHCO}_3$ ）。

3. 溶洞的形成： $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ； $\text{MgCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$

4. 水垢的成分： $\text{CaCO}_3$  和  $\text{Mg}(\text{OH})_2$



5. 侯氏制碱法的关键反应： $\text{NaCl} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{NH}_3 = \text{NaHCO}_3\downarrow + \text{NH}_4\text{Cl}$ ，应向饱和食盐水中先通入  $\text{NH}_3$ ，以增大  $\text{CO}_2$  的溶解度。

### 4. 碱金属元素

(1) 从锂到铯单质：熔点、沸点逐渐降低。

(2) 金属锂的密度小于煤油，一般保存在石蜡油中；金属锂与氧气反应只能生成  $\text{Li}_2\text{O}$ ：



## 二、铁

1. 铁在自然界中的存在：既有游离态（如陨铁），又有化合态。

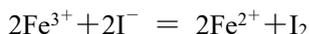
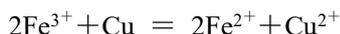
2. 亚铁盐和铁盐

(1) 物理性质

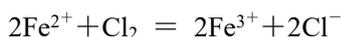
$\text{Fe}^{3+}$ 溶液：黄色； $\text{Fe}^{2+}$ 溶液：浅绿色。

(2) 化学性质

氧化性：



还原性：



$\text{FeSO}_4$  溶液使酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液褪色。

(3) 检验

$\text{Fe}^{3+}$ 的检验：KSCN 溶液（反应后溶液显红色）

$\text{Fe}^{2+}$ 的检验：先加 KSCN 溶液，再加氯水

3. 铁

(1) 物理性质



4. 铁的氧化物

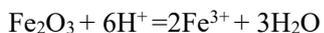
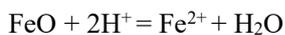
(1) 物理性质

$\text{FeO}$ ：黑色

$\text{Fe}_2\text{O}_3$ ：红棕色，俗称铁红，赤铁矿的主要成分

$\text{Fe}_3\text{O}_4$ ：黑色晶体，俗称磁性氧化铁，可看作  $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ，磁铁矿的主要成分

(2) 化学性质



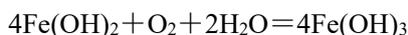
5. 铁的氢氧化物

(1) 物理性质

$\text{Fe}(\text{OH})_2$ ：白色； $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ：红褐色

(2) 化学性质





$\text{Fe}(\text{OH})_2$  沉淀在空气中放置的现象：白色沉淀迅速变成灰绿色，最后变成红褐色。

**【注意】**

1.  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  不属于碱性氧化物。

2. 用  $\text{FeCl}_2 + 2\text{NaOH} = \text{Fe}(\text{OH})_2\downarrow + 2\text{NaCl}$  制备  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  时，将  $\text{NaOH}$  煮沸，并将胶头滴管尖嘴伸入液面以下，防止  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  被氧化。

3. 实验室保存  $\text{FeCl}_2$  溶液时：

(1) 加入铁粉防止  $\text{Fe}^{2+}$  被氧化；

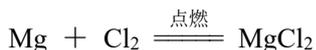
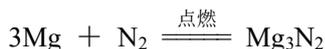
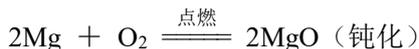
(2) 加入盐酸抑制  $\text{Fe}^{2+}$  水解。

### 三、镁

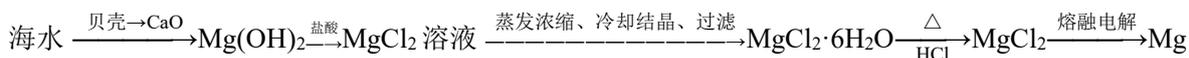
1. 镁的物理性质

银白色金属，密度小，熔点较低，硬度较小，有良好的导电、导热性和延展性。

2. 镁的化学性质



3. 海水提镁



### 四、铝

1. 铝

(1) 物理性质：硬度较小，银白色质轻，有很好的延展性和导电性，熔点低。

(2) 化学性质



四羟基合铝酸钠 (曾被认为是偏铝酸钠  $\text{NaAlO}_2$ )



该反应称为铝热反应，可用于焊接钢轨、定向爆破，铝还可与  $\text{V}_2\text{O}_5$ 、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MnO}_2$  等反应冶炼钒、铬、锰等金属。



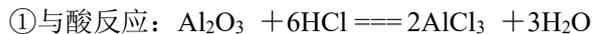
铝热反应装置图

## 2. 氧化铝

(1) 存在：自然界中纯净的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  为无色晶体，俗称刚玉，硬度仅次于金刚石，可作人造宝石。

(2) 物理性质：白色固体，不溶于水，熔点高，可作良好的耐火材料。

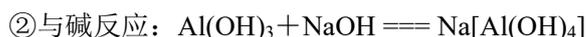
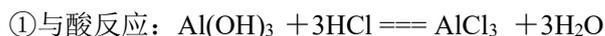
(3) 化学性质（两性氧化物）



## 3. 氢氧化铝

(1) 物理性质： $\text{Al}(\text{OH})_3$  是几乎不溶于水的白色胶状固体，具有吸附性。

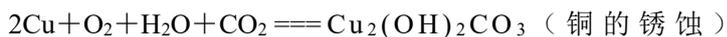
(2) 化学性质（两性氢氧化物）



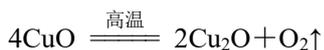
(3) 制取：① $\text{Al}^{3+} + \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ；② $[\text{Al}(\text{OH})_4]^- + \text{CO}_2$ ；③ $\text{Al}^{3+} + [\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ 。

(4) 用途： $\text{Al}(\text{OH})_3$  可作净水剂和色素吸附剂。

## 五、铜



碱式碳酸铜（铜绿）



氧化亚铜：红色

## 六、金属材料

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

### 2. 合金

合金是指两种或两种以上的金属（或金属与非金属）熔合而成的具有金属特性的物质。

(1) 合金的熔点比它的各成分金属熔点都低，硬度比它的各成分金属大。

(2) 生铁含碳量高于钢。

### 3. 金属的冶炼

K、Ca、Na、Mg、Al

Zn、Fe、Sn、Pb、Cu

Hg、Ag

Pt、Au

电解法

热还原法

热分解法

## 第9部分 非金属及其化合物

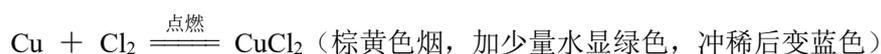
### 一、氯

#### 1. 氯气的基本性质

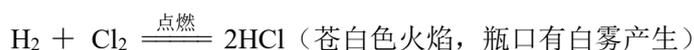
黄绿色气体；有刺激性气味，有毒；密度比空气大；易液化；可溶于水（1：2）。

#### 2. 氯气的化学性质

##### (1) 与金属反应



##### (2) 与非金属反应



##### (3) 与水反应



##### (4) 与碱反应：



#### 3. HClO 的性质

(1) 弱酸性：弱于  $\text{H}_2\text{CO}_3$

(2) 不稳定性： $2\text{HClO} \xrightarrow{\text{光照}} 2\text{HCl} + \text{O}_2\uparrow$

(3) 强氧化性：漂白、消毒

#### 【注意】

1. 烟、雾、气分别为固体、液体、气体。

#### 2. 氯水

(1) 成分： $\text{Cl}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{HClO}$ 、 $\text{H}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{OH}^-$ 、 $\text{ClO}^-$ 。

氯气能使湿润的红纸条褪色 ( $\text{HClO}$ )；

将氯气通入紫色石蕊溶液中，先变红 ( $\text{H}^+$ ) 后褪色 ( $\text{HClO}$ )；

氯水滴入  $\text{AgNO}_3$  溶液，产生白色沉淀 ( $\text{Cl}^-$ )。

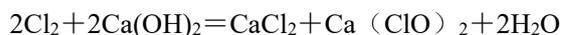
(2) 氯水久置变为稀盐酸。

(3) 不能用 pH 试纸测氯水的 pH (褪色)。

3. 84 消毒液、漂白粉、二氧化氯具有漂白作用和消毒作用。

(1) 84 消毒液：主要成分为次氯酸钠。

(2) 漂白粉：主要成分为次氯酸钠和氯化钙，有效成分为次氯酸钙，由氯气与石灰乳反应制成。



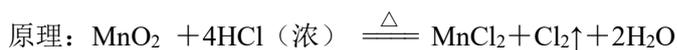
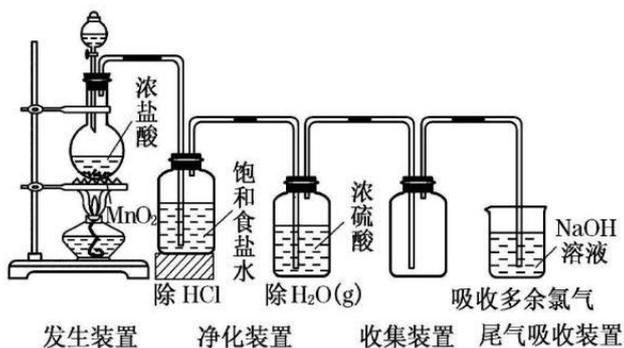
(3) 漂白粉、84 消毒液起作用的原理：与  $\text{CO}_2$  反应生成  $\text{HClO}$  (强酸制弱酸)。

8. 向次氯酸盐溶液中加入过量盐酸：

- ① 盐酸少量：生成  $\text{HClO}$  (强酸制弱酸)；
- ② 盐酸过量：生成  $\text{Cl}_2$  ( $\text{HCl} + \text{HClO} \rightleftharpoons \text{Cl}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$ )。

9.  $\text{SO}_2$  与  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  发生氧化还原反应。

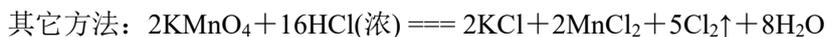
#### 4. 实验室制氯气



净化：饱和食盐水 (除  $\text{HCl}$ )，浓硫酸 (除  $\text{H}_2\text{O}$ )。

收集：向上排空气法、排饱和食盐水法。

尾气处理： $\text{NaOH}$  溶液



#### 【注意】

1. 不能用盐酸酸化高锰酸钾溶液。
2. 根据制氯气两种方法的反应条件可知，氧化性： $\text{KMnO}_4 > \text{MnO}_2$

#### 5. 卤族元素

##### (1) 物理性质

从氟到碘，卤族元素单质的颜色逐渐变深，熔点、沸点逐渐升高。

物理性质		溴单质	碘单质
颜色、状态		深红棕色液体	紫黑色固体
性质		易挥发	易升华
溶解性和溶液颜色	水中	可溶；橙黄色	难溶；黄褐色
	酒精中	易溶；橙红色	易溶；褐色
	四氯化碳中	易溶；橙红色	易溶；紫红色

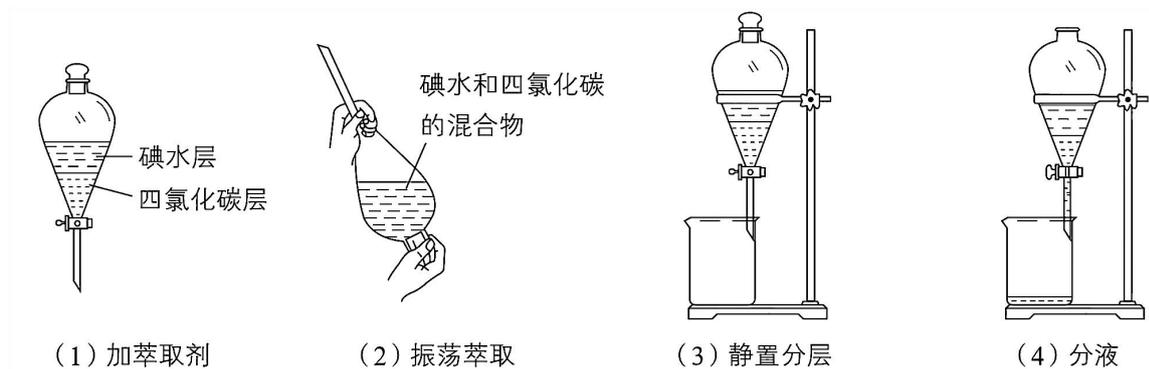
##### (2) 化学性质

卤素单质间的置换： $\text{Cl}_2 + 2\text{NaBr} \rightleftharpoons 2\text{NaCl} + \text{Br}_2$ ； $\text{Cl}_2 + 2\text{KI} \rightleftharpoons 2\text{KCl} + \text{I}_2$ ； $\text{Br}_2 + 2\text{KI} \rightleftharpoons 2\text{KBr} + \text{I}_2$

卤化银的感光性： $\text{AgBr}$  光照分解，可用作感光材料； $\text{AgI}$  见光分解，可用于人工降雨。

### 3. 萃取

利用某种溶质在两种互不相溶的溶剂里溶解能力的不同，用一种溶剂（萃取剂）将其从原溶剂中提取出来的方法叫做萃取。



### 4. 海带提碘与海水提溴

(1) 从海带灰中提取碘的步骤：浸取、过滤、氧化、萃取

(2) 海水提溴的步骤：浓缩、氧化、提取。向海水晒盐剩下的苦卤中通入  $\text{Cl}_2$ ，再鼓入热空气和水蒸气，使溴挥发而分离出来。

#### 【注意】

1. 保存液溴：加水封盖。

2. 可用苯或  $\text{CCl}_4$  萃取溴水中的溴或碘水中的碘，并用分液漏斗分液。（ $\rho: \text{CCl}_4 > \text{水} > \text{苯}$ ）

3. 酸性： $\text{HF} < \text{HCl} < \text{HBr} < \text{HI}$ （与非金属性无关）。

4. 氧化性： $\text{F}_2 > \text{Cl}_2 > \text{Br}_2 > \text{Fe}^{3+} > \text{I}_2$

还原性： $\text{F}^- < \text{Cl}^- < \text{Br}^- < \text{Fe}^{2+} < \text{I}^-$

5. 卤素离子的检验：加硝酸酸化，再加入  $\text{AgNO}_3$  溶液。（ $\text{AgCl}$  白色， $\text{AgBr}$  淡黄色， $\text{AgI}$  黄色）

6. 用反萃取法将碘单质从碘的四氯化碳溶液中提出来：加入浓  $\text{NaOH}$  溶液后振荡、静置、分液（反萃取法），再向水层加入硫酸后过滤得到碘单质。

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

## 二、硫

1. 硫在自然界中的存在：既有游离态，又有化合态。

2. 硫单质

(1) 硫的主要同素异形体：正交硫、单斜硫。

由一种元素组成的性质不同的单质，叫做该元素的同素异形体。如金刚石和石墨，白磷（P<sub>4</sub>）和红磷。

(2) 物理性质

硫单质俗称硫黄。黄色或淡黄色固体；很脆；不溶于水，微溶于酒精，易溶于 CS<sub>2</sub>；熔沸点都不高。

(3) 化学性质



### 【注意】

1. 试管上沾有硫，可用二硫化碳或热 NaOH 溶液洗涤。

2. S 只能将 Cu、Fe 氧化到较低价态。

3. 二氧化硫

(1) SO<sub>2</sub> 为无色、有刺激性气味的有毒气体，密度比空气大，易液化，易溶于水。

(2) 化学性质

① 二氧化硫是酸性氧化物，具有酸性氧化物的通性。酸性：H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> > H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>



② 氧化性：SO<sub>2</sub> + 2H<sub>2</sub>S == 3S↓ + 2H<sub>2</sub>O

③ 还原性：能被 Cl<sub>2</sub>、Br<sub>2</sub>、I<sub>2</sub>、Fe<sup>3+</sup>、KMnO<sub>4</sub>、HNO<sub>3</sub> 等强氧化剂氧化生成 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>。



④ 漂白性：SO<sub>2</sub> 可以使品红溶液褪色，受热又恢复红色。

(3) SO<sub>2</sub> 可用作食品添加剂，如葡萄酒中添加 SO<sub>2</sub> 可杀菌并防氧化。

### 【注意】

1. 加入盐酸产生能使澄清的石灰水变浑浊气体的溶液不一定含 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>，还可能含 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 或 HSO<sub>3</sub><sup>-</sup>。

2. SO<sub>2</sub> 的检验：通入品红溶液褪色，加热后恢复红色。

3. 证明混合气体中含有 CO<sub>2</sub> 和 SO<sub>2</sub>：将混合气体依次通过装有品红溶液、酸性 KMnO<sub>4</sub> 溶液、品红溶液、澄清的石灰水的洗气瓶。

证明 SO<sub>2</sub> 存在的现象：第一瓶品红溶液褪色。

证明 CO<sub>2</sub> 存在的现象：第二瓶品红溶液不褪色，澄清的石灰水变浑浊。

4. Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> 溶液在空气中蒸干或存放变为 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>；H<sub>2</sub>S、Na<sub>2</sub>S 溶液在空气中放置有 S 析出。

5. SO<sub>2</sub> 通入 BaCl<sub>2</sub> 溶液中无沉淀产生，可采取以下措施使之产生沉淀：

①加碱：通 NH<sub>3</sub>、加 NaOH

②加氧化剂：加氯水、溴水、碘水、酸性 KMnO<sub>4</sub> 溶液、HNO<sub>3</sub>、NO<sub>2</sub> 等

6. SO<sub>2</sub> 能使溴水、KMnO<sub>4</sub> 酸性溶液褪色，表现了 SO<sub>2</sub> 的还原性。

7. 易倒吸的气体：NH<sub>3</sub>、HCl、HBr、HI、SO<sub>2</sub>。

#### 4. 浓硫酸

(1) 吸水性和脱水性

吸水性：吸收现成的水，如用作气体干燥剂。

脱水性：按水的元素组成质量比脱水，如与纸张、棉花、蔗糖反应。

(2) 强氧化性

可以氧化大多数金属（除 Pt 和 Au）和其他还原性物质（H<sub>2</sub>S、Fe<sup>2+</sup>等）。



常温时，Al、Fe 在浓硫酸中钝化。（反应生成氧化物保护膜，表现浓硫酸的强氧化性）

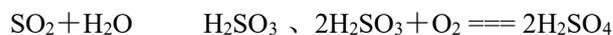
#### 【注意】

1. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 的检验：先加 HCl 溶液，再加 BaCl<sub>2</sub> 溶液。（避免 Ag<sup>+</sup>、SO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 等离子干扰）

2. 浓硫酸与浓盐酸混合可快速制 HCl，表现了浓硫酸的吸水性和高沸点难挥发性。

3. 浓硫酸不能干燥的气体：NH<sub>3</sub>、H<sub>2</sub>S、HI、HBr。

#### 5. 酸雨及其防治



#### 【注意】

酸雨在空气中放置，酸性增强。（2H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> + O<sub>2</sub>  $\rightleftharpoons$  2H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>）

### 三、氮

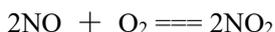
#### 1. 氮气

氮的固定：将空气中游离态的氮转化为含氮化合物的过程叫做氮的固定，简称固氮。

自然固氮：生物固氮； $\text{N}_2 + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{放电}} 2\text{NO}$ （自然固氮）。

人工固氮： $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \xrightarrow[\text{催化剂}]{\text{高温、高压}} 2\text{NH}_3$ （工业合成氨）

#### 2. 氮的氧化物



NO：无色无味气体，不溶于水，有毒（结合血红蛋白）

NO<sub>2</sub>：红棕色、有刺激性气味的气体，易溶于水，有毒，大气污染物（光化学烟雾）

#### 【注意】

NaOH 溶液不与 NO 反应，能与 NO<sub>2</sub> 反应。

#### 3. 氨气

（1）物理性质：无色、有刺激性气味的气体；密度比空气小；极易溶于水（1：700，可进行喷泉实验）；易液化（可用作制冷剂）。

#### （2）化学性质

##### ①碱性

##### a. 与水反应



##### b. 与酸反应



##### ②还原性



#### 【注意】

1. 氨水的成分：NH<sub>3</sub>、H<sub>2</sub>O、NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、OH<sup>-</sup>、H<sup>+</sup>。

2. 可用浓氨水检验氨气是否泄露： $2\text{NH}_3 + 3\text{Cl}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2 + 6\text{HCl}$ 、 $\text{NH}_3 + \text{HCl} \rightleftharpoons \text{NH}_4\text{Cl}$ （产生白烟）。

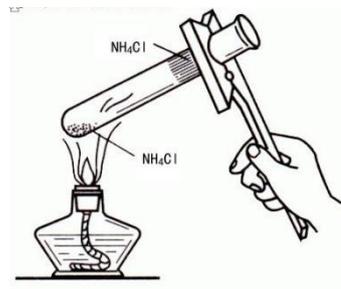


#### 4. 铵盐

##### (1) 铵盐受热分解

铵盐受热都易分解，但不一定产生  $\text{NH}_3$ 。

$$\text{NH}_4\text{Cl} \xrightarrow{\Delta} \text{NH}_3\uparrow + \text{HCl}\uparrow, \text{NH}_3 + \text{HCl} \rightleftharpoons \text{NH}_4\text{Cl}$$
 (固体逐渐消失, 试管口得到白色固体)



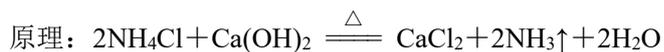
##### (2) 与碱反应



##### (3) $\text{NH}_4^+$ 的检验

加  $\text{NaOH}$  溶液，加热，将湿润的红色石蕊试纸放在管口。

##### (4) 实验室制氨气



干燥：碱石灰

收集：向下排空气法

验满：湿润的红色石蕊试纸，或蘸有浓盐酸的玻璃棒

尾气处理：水或稀  $\text{H}_2\text{SO}_4$

其它方法：加热浓氨水；氨水与碱石灰/ $\text{CaO}$ / $\text{NaOH}$  固体混合。



#### 【注意】

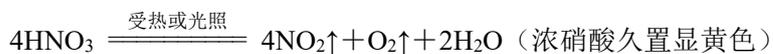
铵盐中加入氢氧化钠溶液，不加热无氨气生成： $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$

#### 5. 硝酸

##### (1) 物理性质

纯净的硝酸是无色、易挥发、有刺激性气味的液体（浓硝酸俗称发烟硝酸）；密度大于水。

##### (2) 不稳定性



##### (3) 强氧化性

$\text{HNO}_3$  能与除金、铂、钛以外的大多数金属反应。



①铁、铝常温下遇浓硝酸钝化（反应生成氧化物保护膜，表现浓硝酸的强氧化性），可以用铁质

容器或铝质容器盛放冷的浓硝酸。

②浓 HNO<sub>3</sub> 和浓盐酸的混合物（体积比 1：3）叫王水，能够使金、铂等溶解。

**【注意】**

1. 硝酸光照分解且能腐蚀橡胶，需贮存在棕色玻璃瓶中，并放置在阴凉处。
2. 弱氧化性酸（稀 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、HCl）可与金属活动性顺序表 H 前面的金属反应，生成 H<sub>2</sub>；  
强氧化性酸（HNO<sub>3</sub>、浓 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>）可与金属活动性顺序表 Pt 前面的金属反应，不生成 H<sub>2</sub>。
3. NO<sub>3</sub><sup>-</sup>只在 H<sup>+</sup>存在时有强氧化性。

## 6. 人类活动对氮循环和环境的影响

### （1）常见的环境问题

环境问题	主要污染物	污染物来源	简介
温室效应	CO <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub>	化石燃料的大量使用	使地表温度上升
臭氧层空洞	氟利昂	冰箱制冷剂	使大气中的臭氧层形成空洞
光化学烟雾	氮氧化物	汽车尾气	污染物发生光化学反应形成有毒烟雾
PM2.5			大气中直径小于或等于 2.5 微米的颗粒物，也称为可入肺颗粒物
酸雨	SO <sub>2</sub> 、氮氧化物	SO <sub>2</sub> : 化石燃料的燃烧 NO <sub>2</sub> : 汽车尾气	pH 小于 5.6 的降水
水体富营养化	N、P 等营养物质		藻类及浮游生物繁殖致水质恶化
赤潮	N、P 等营养物质		海水中的藻类过度繁殖使海水呈赤色，造成海水缺氧
水华	N、P 等营养物质		淡水中的藻类疯长使水质恶化，造成鱼类及其它生物大量死亡
重金属污染			重金属的化合物(以及少数重金属单质)对环境的污染。重金属有钡、铜、银、铬、镉、镍、铅、铊、锡、汞等。
厄尔尼诺			由温室效应引起的热带风暴及大陆气候变化无常
白色污染	塑料垃圾		

### （2）空气质量日报

空气质量日报的主要内容包括“空气污染指数”、“首要污染物”、“空气质量级别”、“空气质量状况”等。目前计入空气污染指数的项目暂定为：可吸入颗粒物、氮氧化物、二氧化硫。

### （3）绿色化学

- ①原子经济性指充分利用反应物中的各个原子，既充分利用资源又防止污染。
- ②绿色化学研究的是如何将污染消除在产业的源头，从根本上消除污染。

## 四、硅

### 1. 硅

(1) 硅元素在自然界中的存在：没有游离态，只有化合态（二氧化硅、硅酸盐等）。

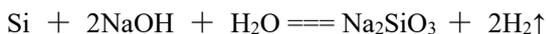
(2) 物理性质：

单质硅有晶体硅和无定形硅两种同素异形体。

晶体硅呈灰黑色，有金属光泽，硬而脆，熔点很高，是良好的半导体材料。

(3) 化学性质

①在常温下，硅的化学性质不活泼，不与  $\text{H}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{Cl}_2$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{HNO}_3$  等发生反应，但能与  $\text{F}_2$ 、 $\text{HF}$  和强碱反应。



②加热时，研细的硅能在氧气中燃烧： $\text{Si} + \text{O}_2 \xrightarrow{\Delta} \text{SiO}_2$

(4) 硅的用途

硅可以用来制造集成电路、太阳能电池、硅整流器等。

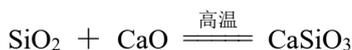
### 2. 二氧化硅

(1) 存在：天然二氧化硅叫硅石，它是石英、水晶、玛瑙、沙子的主要成分。

(2) 物理性质：无色晶体，熔点高，硬度大，不溶于水。

(3) 化学性质

①二氧化硅是一种酸性氧化物，具有酸性氧化物的通性。



②特性：常温下，二氧化硅只与  $\text{F}_2$ 、 $\text{HF}$  和强碱反应。

a.  $\text{SiO}_2$  不溶于水，也不与水反应。

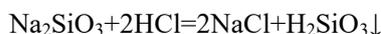
b. 刻蚀玻璃： $\text{SiO}_2 + 4\text{HF} \rightleftharpoons \text{SiF}_4\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$

c. 弱氧化性： $2\text{C} + \text{SiO}_2 \xrightarrow{\text{高温}} \text{Si} + 2\text{CO}\uparrow$ （用于工业制粗硅）

(4) 二氧化硅的用途：制玻璃、仪器、轴承、光导纤维（光纤）等。

### 3. 硅酸钠

$\text{Na}_2\text{SiO}_3$  的水溶液俗称水玻璃，它是一种矿物胶，具有粘合性。



#### 【注意】

1. 用  $\text{SiO}_2$  制取硅酸： $\text{SiO}_2 \xrightarrow{\text{NaOH 溶液}} \text{Na}_2\text{SiO}_3 \text{ 溶液} \xrightarrow{\text{HCl 或 CO}_2} \text{H}_2\text{SiO}_3$

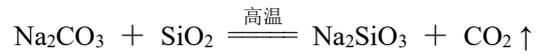
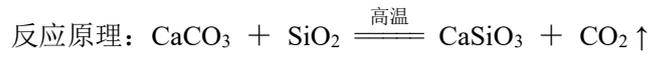
2. 保存：氢氟酸不用玻璃瓶， $\text{NaOH}$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  不用磨口玻璃塞。

## 五、无机非金属材料

### 1. 传统无机非金属材料

#### (1) 玻璃

原料：生产普通玻璃的主要原料是纯碱（ $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ）、石灰石（ $\text{CaCO}_3$ ）和石英（ $\text{SiO}_2$ ）。



主要成分： $\text{CaSiO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  和  $\text{SiO}_2$

主要性质：受热时在一定温度范围内逐渐软化，没有一定的熔点。

#### (2) 水泥

原料：黏土、石灰石

性质：水硬性，与水掺和搅拌并静置后，很容易凝固变硬。

#### (3) 陶瓷

原料：黏土。

### 2. 新型无机非金属材料

高温结构陶瓷、生物陶瓷、压电陶瓷等。

## 第 10 部分 有机化合物

### 一、有机化合物

大多数含有碳元素的化合物属于有机化合物。

#### 【注意】

CO、CO<sub>2</sub>、碳酸盐等含碳化合物属于无机物。

### 二、有机化合物的一般性质

熔点低；难溶于水，易溶于有机溶剂；受热易分解，容易燃烧。

### 三、碳原子的成键特点

1. 碳原子的成键特点：碳原子之间可以通过单键、双键、三键结合；还可以形成碳环。

#### 2. 烃

(1) 定义：仅由碳和氢两种元素组成的有机化合物称为烃，也叫做碳氢化合物。

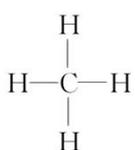
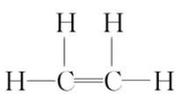
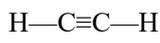
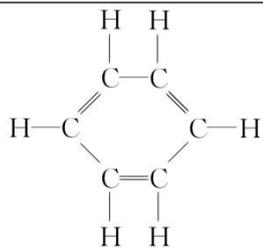
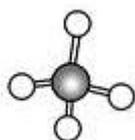
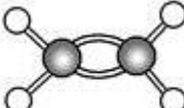
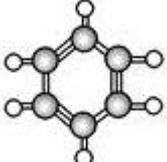
(2) 分类：烃分为链烃和环烃，链烃可分为饱和链烃（烷烃）和不饱和链烃（烯烃、炔烃等）。

(3) 命名

碳原子数 1~10 的烃：用甲、乙、丙、丁、戊、己、庚、辛、壬、癸分别命名，如 C<sub>8</sub>H<sub>18</sub> 叫做辛烷；

碳原子数在 10 以上的烃：用中文数字命名，如 C<sub>11</sub>H<sub>24</sub> 叫做十一烷。

(4) 常见烃的结构

	甲烷	乙烯	乙炔	苯
分子式	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>
结构式				
结构简式	CH <sub>4</sub>	CH <sub>2</sub> =CH <sub>2</sub>	CH≡CH	
球棍模型				
空间填充模型				
结构特点	正四面体形	平面形	直线形	平面形
键角	109°28'	约 120°	180°	120°

### 3. 烷烃

(1) 定义：碳原子之间都以单键结合成碳链，剩余价键均与氢原子相结合的烃分子称为烷烃。

(2) 通式： $C_nH_{2n+2}$

### 4. 同系物

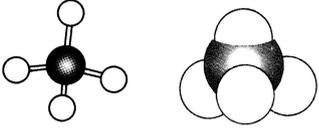
结构相似、分子组成相差一个或若干个  $CH_2$  原子团的有机化合物互称为同系物。

## 四、甲烷

1. 物理性质：无色无味气体，难溶于水。

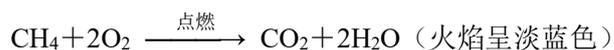
2. 存在：天然气、石油气、沼气、坑道气、瓦斯、可燃冰。

### 3. 分子结构

分子式	电子式	结构式	空间构型	甲烷的分子模型
$CH_4$	$\begin{array}{c} H \\ \vdots \\ H : C : H \\ \vdots \\ H \end{array}$	$\begin{array}{c} H \\   \\ H - C - H \\   \\ H \end{array}$	正四面体	

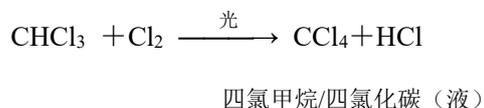
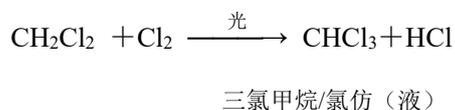
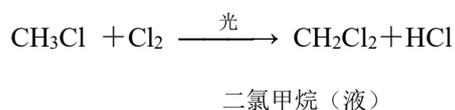
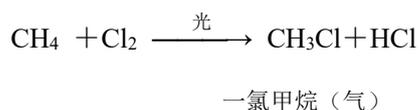
### 4. 化学性质

#### (1) 氧化反应



$CH_4$  不能被酸性  $KMnO_4$  溶液氧化。

#### (2) 取代反应



有机化合物分子里的某些原子 (或原子团) 被其它原子 (或原子团) 代替的反应叫做取代反应。

## 五、官能团

1. 比较活泼、容易发生反应并决定着某类有机化合物共同特性的原子或原子团称为官能团。

官能团的结构	官能团的名称	有机化合物示例
$\begin{array}{c} \diagup \\ \text{C}=\text{C} \\ \diagdown \end{array}$	碳碳双键	$\text{CH}_2=\text{CH}_2$ 乙烯
$-\text{C}\equiv\text{C}-$	碳碳三键	$\text{CH}\equiv\text{CH}$ 乙炔
$-\text{X}$ (X=F、Cl、Br、I)	卤原子	$\text{CH}_3\text{Cl}$ 一氯甲烷
$-\text{O}-\text{H}$ ( $-\text{OH}$ )	羟基	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ 乙醇
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{H} \end{array}$ ( $-\text{CHO}$ )	醛基	$\text{CH}_3\text{CHO}$ 乙醛
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{O}-\text{H} \end{array}$ ( $-\text{COOH}$ )	羧基	$\text{CH}_3\text{COOH}$ 乙酸
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{O}-\text{(R)} \end{array}$ ( $-\text{COO}-$ )	酯基	$\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3$ 乙酸乙酯

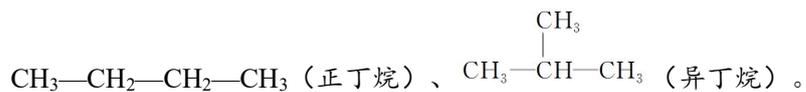
2. 烃分子中的氢原子被其它原子或原子团代替后的产物称为烃的衍生物。

## 六、同分异构现象和同分异构体

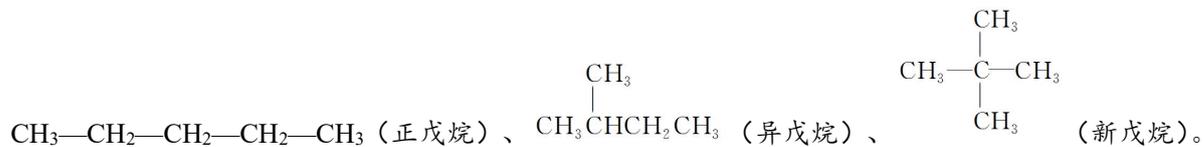
两种或多种化合物具有相同的分子式却具有不同的分子结构的现象，叫做同分异构现象；分子式相同而分子结构不同的化合物互称为同分异构体。

### 【注意】

1. 丁烷 ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ) 的同分异构体有 2 种：



2. 戊烷 ( $\text{C}_5\text{H}_{12}$ ) 的同分异构体有 3 种：



## 七、石油的炼制

1. 石油的组成：烃（烷烃、环烷烃等）

2. 石油的炼制

(1) 分馏

通过加热和冷凝，把石油分成不同沸点范围的产物，这种方法叫做石油的分馏。石油分馏的产物有石油气、汽油、煤油、柴油及重油等。

(2) 裂化

把相对分子质量大、沸点高的烃断裂为相对分子质量小、沸点较低的烃，这种方法称为石油的裂化。

(3) 裂解

用石油分馏产品作原料，采用比裂化更高的温度，使其中相对分子质量较大的烃断裂成乙烯、丙烯等小分子烃的加工方法叫做石油的裂解。

### 【注意】

1. 石油的分馏属于物理变化，裂化、裂解属于化学变化。

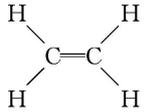
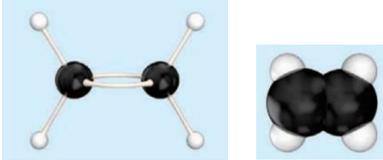
2. 石油的裂化可获取燃料，裂解获取化工原料。

## 八、乙烯

1. 物理性质

乙烯是无色、稍有气味的气体，难溶于水。

2. 分子结构

分子式	结构式	结构简式	空间构型	分子模型
$C_2H_4$		$CH_2=CH_2$	平面形	

3. 化学性质

(1) 氧化反应

①乙烯在空气中燃烧，火焰明亮并伴有黑烟： $C_2H_4 + 3O_2 \xrightarrow{\text{点燃}} 2CO_2 + 2H_2O$ 。

②乙烯能使酸性  $KMnO_4$  溶液褪色（乙烯被氧化成二氧化碳）。

(2) 加成反应

乙烯使溴的四氯化碳溶液褪色： $CH_2=CH_2 + Br_2 \longrightarrow CH_2Br-CH_2Br$

工业上，乙烯与水反应制酒精： $CH_2=CH_2 + H_2O \xrightarrow[\text{催化剂}]{\text{高温、高压}} CH_3-CH_2-OH$

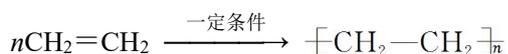
有机化合物分子中双键上的碳原子与其它原子（或原子团）直接结合生成新的化合物分子的反应属于加成反应。

4. 乙烯的产量是衡量一个国家石油化工发展水平的标志。乙烯可作果实催熟剂。

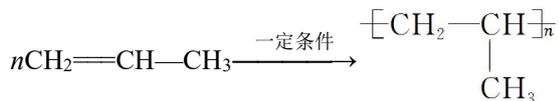


## 十一、有机高分子化合物与有机高分子材料

### 1. 有机高分子化合物



聚乙烯



聚丙烯

#### (1) 聚合反应

由相对分子质量较小的有机化合物生成相对分子质量很大的有机高分子化合物的反应，叫做聚合反应。像乙烯生成聚乙烯这样的聚合反应也叫做加成聚合反应，简称加聚反应。

#### (2) 有机高分子化合物

相对分子质量很大的有机化合物（从几万到几百万甚至上千万）称为有机高分子化合物，简称高分子或聚合物。

### 2. 有机高分子材料

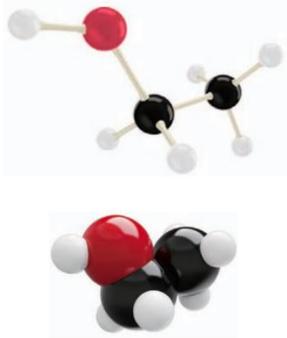
常见的合成有机高分子材料：塑料、合成橡胶、合成纤维。

## 十二、乙醇

### 1. 物理性质

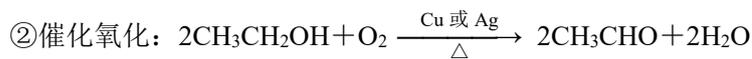
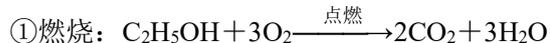
乙醇俗称酒精，它是无色透明、具有特殊香味的液体；比水轻，易挥发，能与水以任意比例互溶，是优良的有机溶剂。

### 2. 分子结构

分子式	结构式	结构简式	官能团	分子模型
$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{H} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ 或 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	羟基（—OH）	

### 3. 化学性质

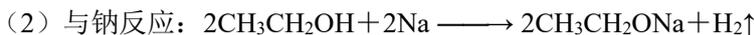
#### (1) 氧化反应



乙醛

③乙醇能被酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液氧化成乙酸 ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )。

④乙醇能被重铬酸钾 ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) 氧化成乙醛 ( $\text{CH}_3\text{CHO}$ )。



#### 4. 用途

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

### 十三、乙酸

1. 物理性质：有强烈刺激性气味的无色液体，低温时凝结成晶体 (无水乙酸又称冰醋酸)。

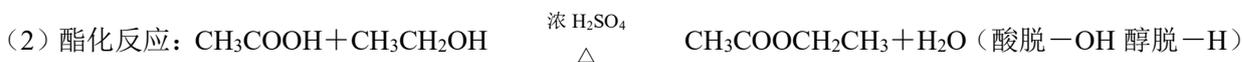
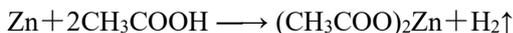
#### 2. 分子结构

分子式	结构式	结构简式	官能团
$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{O} \\   \quad    \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$	$\text{CH}_3\text{COOH}$	羧基 ( $\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ -\text{C}-\text{OH} \end{array}$ 或 $-\text{COOH}$ )

#### 3. 化学性质

##### (1) 酸性

乙酸能使紫色的石蕊溶液变红。



#### 4. 酯的性质

(1) 相对分子质量较小的酯多具有芳香气味。

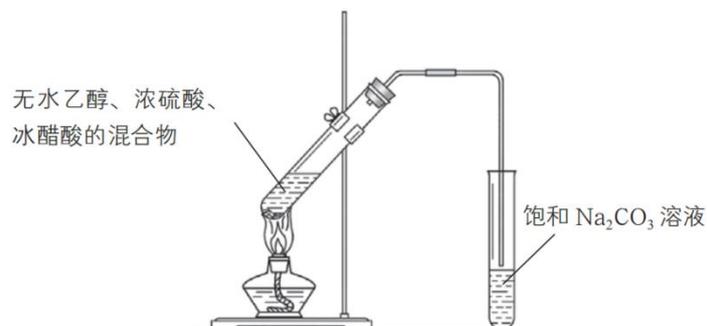
(2) 官能团：酯基 ( $-\text{COO}-$ )

##### (2) 酯的水解



**【注意】**

1. 酯化反应、酯的水解反应都属于取代反应。
2. 酒越陈越香的原因：乙醇被氧化为乙酸（酒败成醋），二者酯化生成乙酸乙酯。
3. 乙酸乙酯的制取：



- (1) 浓硫酸的作用：催化剂、吸水剂。
- (2) 试剂的加入顺序为：乙醇、浓硫酸、冰醋酸，不能先加浓硫酸。
- (3) 碎瓷片的作用：防止液体暴沸。
- (4) 长导管的作用：导气、冷凝回流。
- (5) 导气管不能伸入液面以下，防止液体倒吸。
- (6) 饱和  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液的作用：除去乙酸和乙醇；降低乙酸乙酯在水中的溶解度，便于液体分层。
- (7) 不能用  $\text{NaOH}$  溶液代替饱和  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液，因乙酸乙酯在  $\text{NaOH}$  溶液中水解。
- (8) 不能在反应容器中直接获得乙酸乙酯，以促进平衡右移提高产率。
- (9) 可用饱和  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液鉴别乙醇、乙酸、乙酸乙酯。

## 十四、糖类

1. 组成：糖类由 C、H、O 三种元素组成。

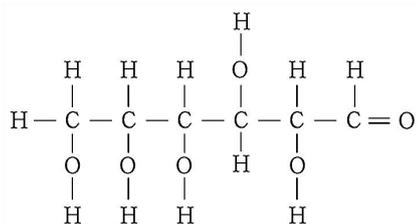
2. 分类

类别	单糖	低聚糖（以双糖为例）	多糖
特点	不水解	1 mol 双糖能水解成 2 mol 单糖	1 mol 多糖能水解成 $n$ mol ( $n > 10$ ) 单糖
化学式	$C_6H_{12}O_6$	$C_{12}H_{22}O_{11}$	$(C_6H_{10}O_5)_n$
常见物质	葡萄糖、果糖	蔗糖、麦芽糖	淀粉、纤维素

3. 葡萄糖

(1) 分子结构

分子式： $C_6H_{12}O_6$



结构式：

结构简式： $CH_2OH(CHOH)_4CHO$

(2) 葡萄糖为人体提供能量： $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O$

(3) 加热条件下，葡萄糖可以使新制的  $Cu(OH)_2$  悬浊液转化成砖红色沉淀 ( $Cu_2O$ )。

4. 淀粉

检验：淀粉遇碘单质变蓝。

酿酒原理：淀粉  $\xrightarrow{\text{水解}}$  葡萄糖  $\xrightarrow{\text{酒化酶}}$  乙醇

5. 纤维素

纤维素在一定条件下能水解生成葡萄糖。

【注意】

检验淀粉在稀硫酸中水解情况（已经水解/完全水解/部分水解），根据要求检验葡萄糖或淀粉。

①检验葡萄糖：先加过量 NaOH 溶液，再加银氨溶液或新制氢氧化铜悬浊液加热。

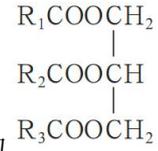
②检验淀粉：直接加碘水。

## 十五、油脂

### 1. 分类

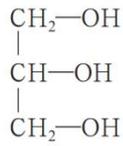
油脂包含油（植物油脂，通常呈液态）和脂肪（动物油脂，通常呈固态）。

### 2. 结构



油脂属于酯类，可看作高级脂肪酸与甘油经酯化反应生成的酯，组成可表示为  $R_1COOCH_2$ ， $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  代表烃基。

高级脂肪酸：如硬脂酸（ $C_{17}H_{35}COOH$ ）、软脂酸（ $C_{15}H_{31}COOH$ ）、油酸（ $C_{17}H_{33}COOH$ ）、亚油酸（ $C_{17}H_{31}COOH$ ）等。



甘油：丙三醇（ $CH_2-OH$ ）。

烃基：烃分子失去氢原子后的剩余部分叫作烃基，如 $-C_{15}H_{31}$ 叫作十五烷基、 $-C_{17}H_{35}$ 叫作十七烷基等。

3. 油脂水解生成高级脂肪酸和甘油。

4. 油脂在碱性条件下水解不可逆，称为皂化反应，可用于生产肥皂。

## 十六、蛋白质

1. 组成：C、H、O、N、S 等元素。

### 2. 性质

(1) 水解：蛋白质水解生成氨基酸。

(2) 盐析：浓的盐溶液[如 $(NH_4)_2SO_4$ 、 $NaCl$ ]使蛋白质从溶液中析出，不影响蛋白质的生理活性。

(3) 变性：在紫外线照射、加热或加入某些有机化合物（如乙醇、甲醛等）以及酸、碱、重金属盐（如铜盐、铅盐、汞盐等）的情况下，蛋白质会聚沉，蛋白质失去生理活性。

(4) 显色反应：分子中含有苯环的蛋白质与浓硝酸作用时呈黄色。

(5) 蛋白质被灼烧时，产生特殊气味。

### 【注意】

1. 高温蒸煮、紫外线照射、涂抹酒精等方法消毒以及用甲醛溶液（福尔马林）保存动物标本的原理都是使蛋白质变性。

### 2.

	单糖	双糖	多糖	油脂	蛋白质
能否水解	否	能	能	能	能
是否属于高分子	否	否	是	否	是

## 第 11 部分 化学实验

### 一、常用化学仪器

#### 1. 加热仪器



酒精灯



酒精喷灯

#### 2. 可加热仪器

##### (1) 直接加热仪器



试管

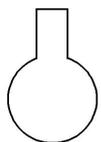


蒸发皿



坩埚

##### (2) 垫石棉网加热仪器



圆底烧瓶



锥形瓶



烧杯

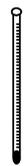


三颈烧瓶

#### 3. 计量仪器



量筒



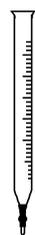
温度计



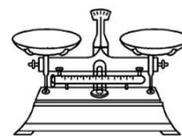
容量瓶



酸式滴定管

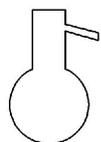


碱式滴定管

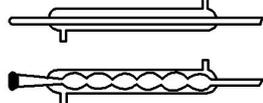


托盘天平

#### 4. 分离提纯仪器



蒸馏烧瓶



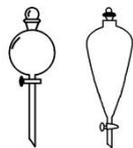
直形冷凝管 (上图)



普通漏斗



长颈漏斗



分液漏斗



滴液漏斗



恒压滴液漏斗



洗气瓶

球形冷凝管 (下图)

## 5.干燥仪器



U型管



干燥管



干燥器

## 6.其它常用仪器



滴瓶



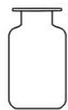
胶头滴管



广口瓶



细口瓶



集气瓶



表面皿

## 二、实验基本操作

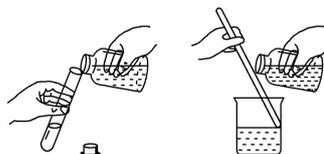
### 1. 药品的取用

(1) 取用粉末状或小颗粒状固体用药匙或纸槽，要把药品送入试管底部，而不能沾在管口和管壁上。块状和大颗粒固体用镊子夹取。



向试管中加粉末状固体药品

(2) 取少量液体可用胶头滴管。取用较多的液体用倾倒法，注意试剂瓶上的标签向着手心。向烧杯、容量瓶、漏斗中倾倒液体时，要用玻璃棒引流。



液体的倾倒

### 2. 常见试纸的使用

#### (1) 试纸种类和用途

红色石蕊试纸——定性检验碱性溶液

蓝色石蕊试纸——定性检验酸性溶液

pH 试纸——定量检验溶液酸碱性的强弱

淀粉-KI 试纸——检验  $\text{Cl}_2$  等具有强氧化性的物质

品红溶液——检验  $\text{SO}_2$  等具有漂白性的物质

#### (2) 使用方法

①检验液体：取一小块试纸放在表面皿或玻璃片上，用蘸有待测液的玻璃棒(或胶头滴管吸取)点在试纸的中部，观察试纸颜色变化。

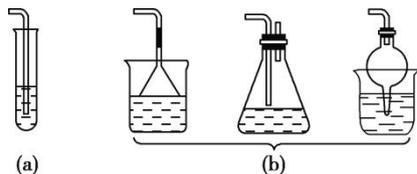
②检验气体：一般先将试纸润湿，粘在玻璃棒的一端，并使其接近集气瓶口，观察颜色变化。

### 3. 物质的溶解

#### (1) 固体的溶解

一般在烧杯或试管里进行，为了加速溶解，常采用搅拌、粉碎、振荡或加热等措施，但  $\text{FeCl}_3$ 、 $\text{AlCl}_3$  等易水解的固体溶解时不能加热。

#### (2) 气体的溶解



①对溶解度不大的气体，如  $\text{CO}_2$ 、 $\text{Cl}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$  等，用如图(a)所示装置。

②对极易溶于水的气体，如  $\text{HCl}$ 、 $\text{NH}_3$  等，用如图(b)所示装置。

### 4. 仪器的洗涤

#### (1) 洗净的标准

内壁附着均匀水膜，既不聚成水滴，也不成股流下。

#### (2) 常见残留物的洗涤

待清洗仪器	污物	清洗试剂
做过 $\text{KMnO}_4$ 分解实验的试管	$\text{MnO}_2$	热的浓盐酸
做过碘升华实验的烧杯	碘	酒精
长期存放 $\text{FeCl}_3$ 溶液的试剂瓶	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	稀盐酸
做过银镜实验的试管	银	稀 $\text{HNO}_3$
做过铜与硫反应实验的试管	硫	热的烧碱溶液或二硫化碳
做过油脂实验的试管	油污	热的纯碱溶液

### 5. 装置的气密性检查

方法	微热法	液差法
图例		
具体操作	塞紧橡胶塞，将导气管末端伸入盛水的烧杯中，用手捂热(或用酒精灯微热)烧瓶	塞紧橡胶塞，用止水夹夹住导气管的橡胶管部分，从长颈漏斗向试管中注水
现象说明	烧杯中有气泡产生，停止微热，冷却后导气管末端形成一段水柱，且保持一段时间不下降	停止加水后，长颈漏斗中的液面高于试管中的液面，且液面差不再改变

### 6. 物质的加热

#### (1) 固体的加热

①试管口要略向下倾斜，防止生成的水倒流，引起试管炸裂。

②先给试管均匀加热，受热均匀后再固定在药品部位加热。

(2) 液体的加热

①加热前，先把玻璃容器外壁的水擦干，以免炸裂容器；用试管加热时，先用试管夹夹住试管中上部，管口向上倾斜，不得对着人，以防液体沸腾时溅出烫伤人。

②试管内液体的体积不超过试管容积的 $\frac{1}{3}$ 。

(3) 加热的方式

加热方式	适应范围
直接加热	瓷质、金属质或小而薄的玻璃仪器(如试管)等
隔石棉网加热	较大的玻璃反应器(如烧杯、烧瓶等)
浴热(水浴、油浴、沙浴等)	(1) 需严格控制温度(如硝基苯的制备) (2) 需反应混合液静置(如银镜反应) (3) 蒸馏沸点差较小的混合液

### 三、试剂的存放及实验安全

#### 1. 化学试剂的保存

##### (1) 试剂瓶的选择

①根据药品状态 { 固体：用广口瓶  
液体：用细口瓶

②根据感光性 { 见光易分解的：用棕色瓶  
见光不分解的：用无色瓶

③根据酸碱性 { 玻璃塞：不能盛放碱性物质  
橡胶塞：不能盛放酸性、强氧化性物质和有机试剂

## (2) 试剂的保存方法

化学试剂都应注意妥善密封保存于试剂瓶中。对于易变质、易挥发或有危险性的化学试剂，还应根据其性质采取特殊的保存方法。

保存依据	保存方法	典型实例
防氧化	(1) 密封或用后立即盖好 (2) 加入还原剂 (3) 隔绝空气	(1) $\text{Na}_2\text{SO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{S}$ 、 $\text{KI}$ 溶液等用后立即盖好 (2) $\text{FeSO}_4$ 溶液中加少量铁屑 (3) $\text{K}$ 、 $\text{Na}$ 保存在煤油里， $\text{Li}$ 保存在石蜡里
防与 $\text{CO}_2$ 反应	密封保存，减少露置时间	$\text{NaOH}$ 溶液、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 溶液、石灰水、 $\text{Na}_2\text{O}_2$ 固体等密封保存
防挥发	(1) 密封，置于阴凉处 (2) 液封	(1) 浓盐酸、浓氨水等置于阴凉处 (2) 液溴用水封
防燃烧	置于冷暗处，不与氧化剂混合贮存，严禁火种	苯、汽油、酒精等
防分解	保存在棕色瓶中，置于冷暗处	浓 $\text{HNO}_3$ 、 $\text{KMnO}_4$ 溶液、 $\text{AgNO}_3$ 溶液、氯水等
抑制水解	加入酸(碱)，抑制水解	$\text{FeCl}_3$ 溶液中加稀盐酸， $\text{Na}_2\text{S}$ 溶液中加 $\text{NaOH}$ 溶液
防腐蚀	(1) 能腐蚀橡胶的物质用玻璃塞或塑料盖 (2) 能腐蚀玻璃的物质用塑料容器	(1) 浓 $\text{HNO}_3$ 、 $\text{KMnO}_4$ 溶液、氯水、溴水等腐蚀橡胶 (2) 氢氟酸保存在塑料瓶中
防黏结	碱性溶液用橡胶塞	$\text{NaOH}$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ 溶液等

## 2. 常见危险化学药品的标识

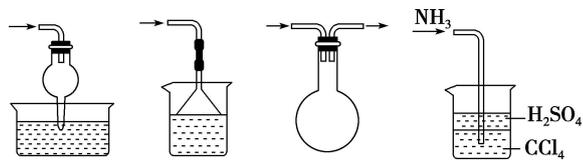


## 3. 常见意外事故的处理

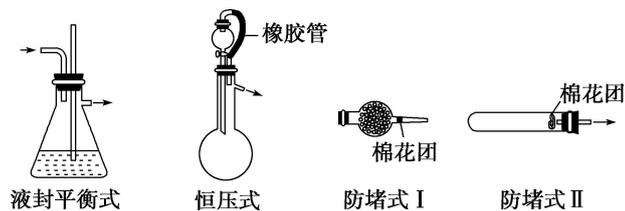
意外事故	处理方法
金属钠、钾起火	用沙土盖灭
酒精灯不慎碰倒起火	用湿抹布盖灭
浓碱液溅到皮肤上	用较多水冲洗，然后涂上硼酸溶液
浓硫酸溅到皮肤上	用大量水冲洗，然后涂上 3%~5% $\text{NaHCO}_3$ 溶液
不慎将酸溅到眼中	用大量水冲洗，边洗边眨眼睛，切不可用手揉眼睛，并及时送医院
温度计水银球不慎碰破	用硫粉覆盖
液溴、苯酚沾到皮肤上	用酒精擦洗
重金属盐中毒	喝大量豆浆、牛奶，并及时送医院

## 4. 实验安全装置

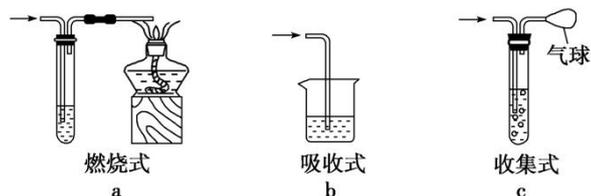
(1) 防倒吸安全装置



(2) 防堵塞安全装置



(3) 防污染安全装置

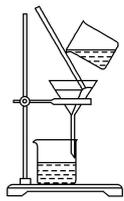
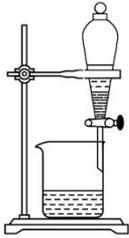
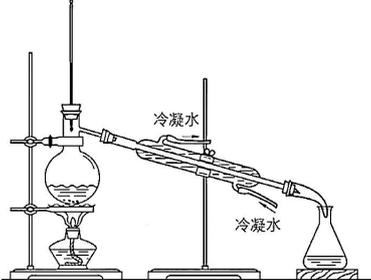
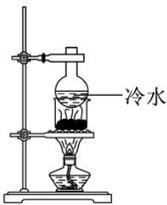
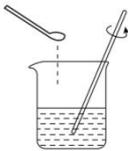


①实验室制取  $\text{Cl}_2$  时，尾气的处理可采用 b、c 装置。

②制取  $\text{CO}$  时，尾气的处理可采用 a、c 装置。

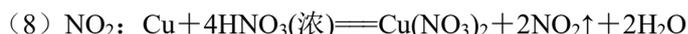
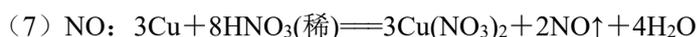
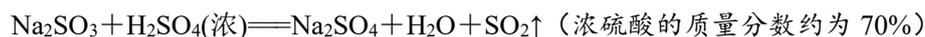
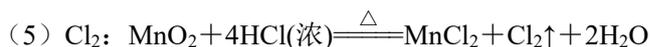
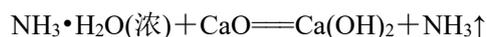
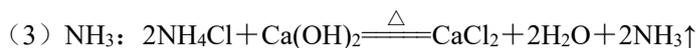
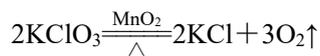
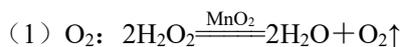
③制取  $\text{H}_2$  时，尾气的处理可采用 a、c 装置。

#### 四、物质的分离和提纯

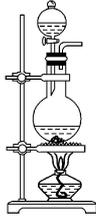
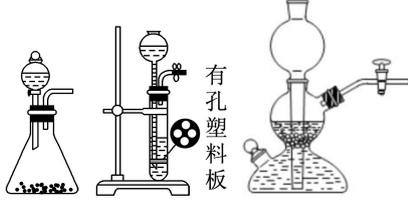
<p>过滤</p>		<p>①适用范围：把不溶性固体和液体进行分离；</p> <p>②注意事项：</p> <p>一贴：滤纸紧贴漏斗内壁；</p> <p>二低：滤纸低于漏斗口，液面低于滤纸边缘；</p> <p>三靠：烧杯紧靠玻璃棒，玻璃棒轻靠三层滤纸处，漏斗下端紧靠烧杯内壁。</p>
<p>蒸发结晶</p>		<p>①适用范围：分离易溶固体和液体；</p> <p>②注意事项：</p> <p>a.玻璃棒的作用：搅拌，防止局部温度过高造成液体飞溅；</p> <p>b.当有较多晶体析出时，停止加热，用余热蒸干。</p>
<p>萃取和分液</p>		<p>①适用范围：</p> <p>a.萃取：利用溶质在互不相溶的溶剂里的溶解度不同，用一种溶剂把溶质从它与另一种溶剂组成的溶液里提取出来；</p> <p>b.分液：用于分离两种互不相溶的液体混合物；</p> <p>②注意事项：</p> <p>a.分液漏斗在使用前检查是否漏水；</p> <p>b.溶质在萃取剂中的溶解度要比在原溶剂中大，萃取剂与原溶剂不相溶，萃取剂与溶质不反应；</p> <p>c.分液时，分液漏斗中的下层液体从下口流出，上层液体从上口倒出。</p>
<p>蒸馏 (分馏)</p>		<p>①适用范围：互溶且沸点相差较大的液体混合物；</p> <p>②注意事项：</p> <p>a.温度计的水银球在蒸馏烧瓶的支管口处；</p> <p>b.蒸馏烧瓶中要加沸石或碎瓷片；</p> <p>c.冷凝管水流方向应为“下进上出”。</p>
<p>升华</p>		<p>①适用范围：混合物中某种组分易升华，利用物质易升华的性质在加热条件下分离的方法；</p> <p>②注意事项：应与物质的分解反应区分，如 <math>\text{NH}_4\text{Cl} \xrightarrow{\Delta} \text{NH}_3\uparrow + \text{HCl}\uparrow</math>，属化学变化。</p>
<p>渗析</p>		<p>①适用范围：分离提纯胶体与小分子(或离子)组成的混合液；</p> <p>②注意事项：要不断更换烧杯中的蒸馏水(或用流动水)以提高渗析效果。</p>
<p>盐析</p>		<p>①适用范围：利用蛋白质在加某些无机盐[如 <math>\text{Na}_2\text{SO}_4</math>、<math>(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4</math> 等]时，其溶解度降低而析出的性质进行分离的方法；</p> <p>②注意事项：盐析后需要过滤。</p>

## 五、气体的制备和收集

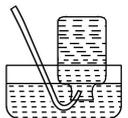
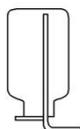
### 1. 常见气体制备的反应原理



### 2. 常见气体制备的发生装置

反应装置类型	反应装置图	操作注意事项
固、固加热型		①试管要干燥； ②试管口略低于试管底； ③加热时先预热再固定加热； ④用 $\text{KMnO}_4$ 制取 $\text{O}_2$ 时，需在管口处塞一小团棉花。
固、液加热型 或 液、液加热型		①加热烧瓶时要隔石棉网； ②反应物均为液体时，烧瓶内要加碎瓷片。
固、液不加热型		①使用长颈漏斗时，要使漏斗下端插入液面以下； ②启普发生器只适用于块状固体和液体反应，且气体不溶于水； ③使用分液漏斗既可以增强气密性，又可控制液体流速。

### 3. 气体的收集方法

收集方法	排水法	向上排空气法	向下排空气法
收集装置			
适用的气体	H <sub>2</sub> 、O <sub>2</sub> 、NO、CH <sub>4</sub>	Cl <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 、NO <sub>2</sub> 、SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> 、NH <sub>3</sub>

## 六、气体的净化与尾气处理

### 1. 气体的干燥

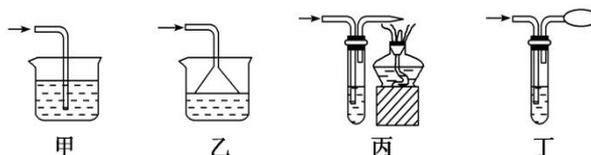
	液态干燥剂	固态干燥剂	
装置			
常见干燥剂	浓硫酸	无水氯化钙	碱石灰
不可干燥的气体	NH <sub>3</sub> 、HBr、HI、H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	Cl <sub>2</sub> 、SO <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 、NO <sub>2</sub> 、HCl 等

### 2. 尾气处理

#### (1) 处理方法

Cl <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	HCl	NH <sub>3</sub>	CO	NO
通入 NaOH 溶液			通入 CuSO <sub>4</sub> 溶液或 NaOH 溶液	通入水	通入水或 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 溶液	点燃	与 O <sub>2</sub> 混合后通入 NaOH 溶液

#### (3) 尾气处理装置



①在水中溶解度较小的有毒气体，多数可通入烧杯中的溶液中，用某些试剂吸收除去(如图甲)，如 Cl<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> 均可通入 NaOH 溶液中除去。

②对于溶解度很大吸收速率很快的气体，吸收时应防止倒吸，典型装置如图乙。

③某些可燃性气体可用点燃(如图丙)或转化的方法除去，如 CO、H<sub>2</sub> 可点燃或通过灼热的 CuO 除去。

④收集法：尾气处理也可以采用收集的方法除去(如图丁)，如 CH<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>、H<sub>2</sub>、CO 等。

## 第 12 部分 化学反应的热效应（选修）

### 一、化学反应的反应热

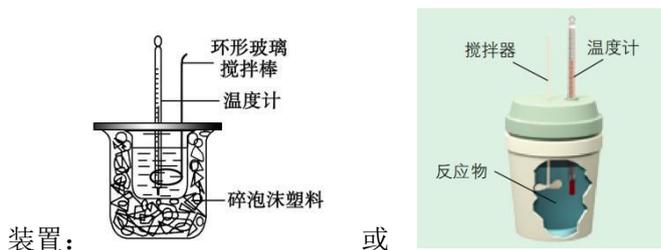
#### 1. 定义

当化学反应在一定的温度下进行，反应所释放或吸收的能量称为该反应在此温度下的热效应，简称反应热，通常用符号  $Q$  表示。

$Q > 0$ : 吸热反应

$Q < 0$ : 放热反应

#### 2. 测定中和反应的反应热



计算公式： $Q = -C(T_2 - T_1)$ 。

其中  $C$  表示溶液及量热计的热容， $T_1$ 、 $T_2$  分别表示反应前和反应后体系的温度。

#### 【注意】

不能用浓  $H_2SO_4$ 、 $NaOH$  固体、弱酸、弱碱等伴随其它热量变化的物质测定中和反应的反应热。

### 二、化学反应的内能变化与焓变

#### 1. 化学反应的内能变化

(1) 内能：体系内物质所含各种微观粒子的能量总和，符号为  $U$ 。

(2) 内能的变化： $\Delta U = U(\text{反应产物}) - U(\text{反应物})$

(3) 化学反应中内能的变化等于反应热和功的加和，即： $\Delta U = Q + W$

(4) 如果反应过程中体系没有做功，则： $\Delta U = Q$

#### 2. 化学反应的焓变

(1) 焓： $H = U + pV$

(2) 焓变： $\Delta H = H(\text{反应产物}) - H(\text{反应物})$ ，单位： $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

(3) 反应热与焓变的关系

恒压条件下，反应中物质的能量变化全部转化为热能时，化学反应的反应热等于焓变： $Q_p = \Delta H$ 。

(4)  $\Delta H < 0$ ，放热反应； $\Delta H > 0$ ，吸热反应。

### 三、热化学方程式

1. 概念：表示参加反应的物质的物质的量和反应焓变的关系的化学方程式。

2. 意义：不仅表明了化学反应中的物质变化，也表明了化学反应中的能量变化。

例如： $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) = \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -285.8 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ，表示在 25 °C 和  $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$  下，1 mol 氢气和

0.5 mol 氧气完全反应生成 1 mol 液态水时放出 285.8 kJ 的热量。

### 3. 注意事项

(1) 热化学方程式不注明反应条件。

(2) 热化学方程式不标“↑”“↓”，但必须用标出物质的聚集状态（g、l、s 分别表示物质的状态为气态、液态、固态，aq 表示物质为水溶液中的溶质）。

(3) 反应焓变单位中的  $\text{mol}^{-1}$  是指每摩尔反应，即反应完成时参加反应的各物质的物质的量的数值与热化学方程式中各物质化学式前的系数相同，而不是指每摩尔某物质。

(4) 指明反应的温度和压强。若不特别说明，反应温度为 298 K，压强为 101 kPa。

## 四、燃烧热与中和热

### 1. 燃烧热

101 kPa 时，1 mol 纯物质完全燃烧生成稳定的氧化物时所放出的热量。

### 2. 中和热

在稀溶液中，酸和碱发生中和反应生成 1 mol  $\text{H}_2\text{O}$  时所放出的热量。

## 五、反应焓变的计算

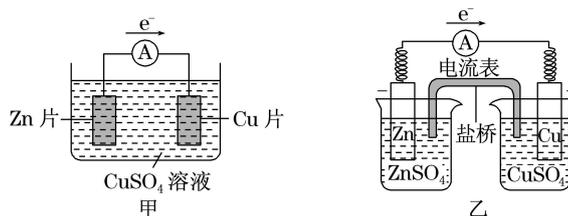
1. 一个化学反应无论是一步完成还是分几步完成，反应热都是一样的，这一规律称为盖斯定律。

2. 如果一个化学方程式可以通过几个化学方程式相加减而得到，则该反应的焓变为相应化学反应的焓变的代数和。

## 第 13 部分 电化学（选修）

### 一、原电池

#### 1. 原电池的工作原理



在电极上进行的半反应叫做电极反应。

#### 【注意】

1. 图乙盐桥中通常装有含琼脂的 KCl 或  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  溶液。
2. 盐桥的作用：使整个装置构成通路，代替两溶液直接接触；平衡电荷；提高电池效率。

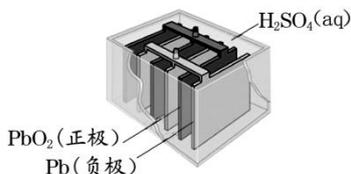
### 二、化学电源

#### 1. 一次电池

类型	酸性锌锰干电池	碱性锌锰干电池
结构		
负极	$\text{Zn} - 2\text{e}^- = \text{Zn}^{2+}$	$\text{Zn} + 2\text{OH}^- - 2\text{e}^- = \text{ZnO} + \text{H}_2\text{O}$
正极	$2\text{MnO}_2 + 2\text{NH}_4^+ + 2\text{e}^- = \text{Mn}_2\text{O}_3 + 2\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$	$2\text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- = 2\text{MnOOH} + 2\text{OH}^-$ 碱式氧化锰
总反应	$\text{Zn} + 2\text{MnO}_2 + 2\text{NH}_4^+ = \text{Zn}^{2+} + \text{Mn}_2\text{O}_3 + 2\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$	$\text{Zn} + 2\text{MnO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{ZnO} + 2\text{MnOOH}$

#### 2. 二次电池（可充电电池）

铅蓄电池：



负极： $\text{Pb} + \text{SO}_4^{2-} - 2\text{e}^- = \text{PbSO}_4$

正极： $\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{e}^- = \text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$

电池反应： $\text{Pb} + \text{PbO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \begin{matrix} \text{放电} \\ \text{充电} \end{matrix} 2\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$

### 3. 燃料电池

氢氧燃料电池:

电池反应:  $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$

碱性条件下, 负极:  $\text{H}_2 - 2\text{e}^- + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$     正极:  $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightleftharpoons 4\text{OH}^-$

酸性条件下, 负极:  $\text{H}_2 - 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{H}^+$     正极:  $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$

中性条件下, 负极:  $\text{H}_2 - 2\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{H}^+$     正极:  $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightleftharpoons 4\text{OH}^-$

#### 【注意】

书写原电池电极反应式书写顺序: 根据总反应写出反应物、产物、得失电子数→根据电荷守恒及溶液环境写离子 ( $\text{H}^+$ 、 $\text{OH}^-$ 等)→根据质量守恒写其它物质 (如  $\text{H}_2\text{O}$ )。如甲烷燃料电池:

环境	负极	正极
酸性	$\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} - 8\text{e}^- \rightleftharpoons \text{CO}_2 + 8\text{H}^+$	$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$
碱性	$\text{CH}_4 + 10\text{OH}^- - 8\text{e}^- \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-} + 7\text{H}_2\text{O}$	$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightleftharpoons 4\text{OH}^-$
熔融的碳酸盐	$\text{CH}_4 + 4\text{CO}_3^{2-} - 8\text{e}^- \rightleftharpoons 5\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{O}_2 + 2\text{CO}_2 + 4\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{CO}_3^{2-}$
固体氧化物	$\text{CH}_4 + 4\text{O}^{2-} - 8\text{e}^- \rightleftharpoons \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{O}_2 + 4\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{O}^{2-}$

### 三、电解池

1. 将电能转化为化学能的装置叫做电解池。

2. 在与电源正极相连的电极上发生的电极反应是氧化反应, 该电极是阳极; 与电源负极相连的电极上发生的电极反应是还原反应, 该电极是阴极。

3. 放电顺序

阴极放电顺序:  $\text{K}^+ < \text{Ca}^{2+} < \text{Na}^+ < \text{Mg}^{2+} < \text{Al}^{3+} < \text{Zn}^{2+} < \text{Fe}^{2+} < \text{Sn}^{2+} < \text{Pb}^{2+} < \text{H}^+ < \text{Cu}^{2+} < \text{Hg}^{2+} < \text{Ag}^+$

阳极放电顺序: 活性电极(除 Pt、Au、C)  $> \text{S}^{2-} > \text{I}^- > \text{Br}^- > \text{Cl}^- > \text{OH}^- > \text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 等

#### 【注意】

在电解池中:

(1) 外电路

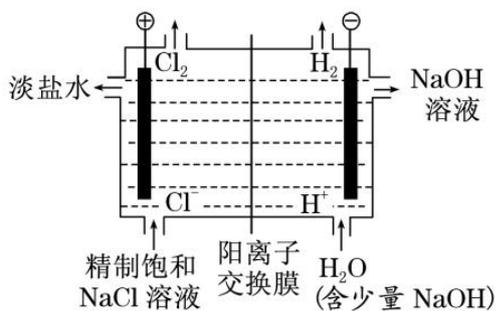
①电子: 负极→阴极, 阳极→正极;    ②电流: 正极→阳极, 阴极→负极;

(2) 内电路

①离子: 阳离子→阴极, 阴离子→阳极;    ②电流: 阳极→阴极。

#### 四、电解原理的应用

##### 1. 电解食盐水制备烧碱、氢气和氯气



阳极： $2\text{Cl}^- - 2\text{e}^- = \text{Cl}_2\uparrow$

阴极： $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- = \text{H}_2\uparrow + 2\text{OH}^-$  (或  $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2\uparrow$ )

总反应： $2\text{Cl}^- + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{通电}} 2\text{OH}^- + \text{H}_2\uparrow + \text{Cl}_2\uparrow$

##### 【注意】

阳离子交换膜的作用：

- ①只允许阳离子通过，能阻止阴离子和气体通过
- ②将电解槽隔成阳极室和阴极室
- ③既能阻止  $\text{H}_2$  和  $\text{Cl}_2$  混合爆炸，又能避免  $\text{Cl}_2$  和  $\text{NaOH}$  溶液作用生成的  $\text{NaClO}$  影响烧碱质量

##### 2. 铜的电解精炼

(1) 在电解法精炼铜的装置中，粗铜作为阳极，精铜作为阴极，电解质溶液为硫酸酸化的  $\text{CuSO}_4$  溶液。

(2) 粗铜中银、铂、金等不如铜活泼的金属最终沉积在电解池的底部与其它不溶性杂质混在一起形成阳极泥。

##### 3. 电镀

在电镀槽中，镀件做阴极，镀层金属或惰性电极材料做阳极，电镀液通常采用含镀层金属离子的盐溶液。

【注意】

1. 用惰性电极电解下列物质的水溶液：

电解质溶液	放电离子	反应式	pH 变化	恢复原溶液加入的物质
NaCl	$H^+$ 、 $Cl^-$	阳 极： $2Cl^- - 2e^- = Cl_2\uparrow$ 阴 极： $2H_2O + 2e^- = H_2\uparrow + 2OH^-$ 总反应： $2Cl^- + 2H_2O \xrightarrow{\text{通电}} Cl_2\uparrow + H_2\uparrow + 2OH^-$ $2NaCl + 2H_2O \xrightarrow{\text{通电}} Cl_2\uparrow + H_2\uparrow + 2NaOH$	增大	HCl
HCl	$H^+$ 、 $Cl^-$	阳 极： $2Cl^- - 2e^- = Cl_2\uparrow$ 阴 极： $2H^+ + 2e^- = H_2\uparrow$ 总反应： $2Cl^- + 2H^+ \xrightarrow{\text{通电}} Cl_2\uparrow + H_2\uparrow$ $2HCl \xrightarrow{\text{通电}} Cl_2\uparrow + H_2\uparrow$	增大	HCl
$CuSO_4$	$Cu^{2+}$ 、 $OH^-$	阳 极： $2H_2O - 4e^- = O_2\uparrow + 4H^+$ 阴 极： $Cu^{2+} + 2e^- = Cu$ 总反应： $2Cu^{2+} + 2H_2O \xrightarrow{\text{通电}} 2Cu + O_2\uparrow + 4H^+$ $2CuSO_4 + 2H_2O \xrightarrow{\text{通电}} 2Cu + O_2\uparrow + 2H_2SO_4$	减小	CuO
$KNO_3$	$H^+$ 、 $OH^-$	阳 极： $2H_2O - 4e^- = O_2\uparrow + 4H^+$ 阴 极： $2H_2O + 2e^- = H_2\uparrow + 2OH^-$ 总反应： $2H_2O \xrightarrow{\text{通电}} 2H_2\uparrow + O_2\uparrow$	不变	$H_2O$
$H_2SO_4$	$H^+$ 、 $OH^-$	阳 极： $2H_2O - 4e^- = O_2\uparrow + 4H^+$ 阴 极： $2H^+ + 2e^- = H_2\uparrow$ 总反应： $2H_2O \xrightarrow{\text{通电}} 2H_2\uparrow + O_2\uparrow$	变小	$H_2O$
NaOH	$H^+$ 、 $OH^-$	阳 极： $4OH^- - 4e^- = O_2\uparrow + 4H^+$ 阴 极： $2H_2O + 2e^- = H_2\uparrow + 2OH^-$ 总反应： $2H_2O \xrightarrow{\text{通电}} 2H_2\uparrow + O_2\uparrow$	变大	$H_2O$

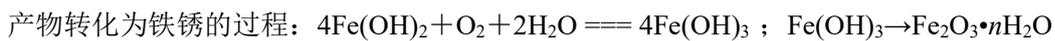
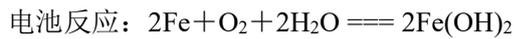
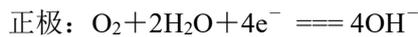
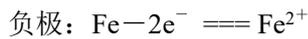
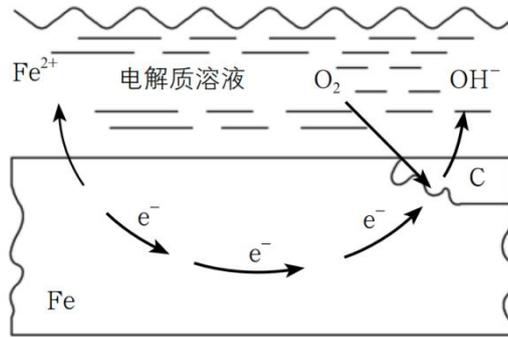
2. 电解精炼铜时，溶液中  $Cu^{2+}$  浓度减少；电镀铜过程中，溶液中  $Cu^{2+}$  浓度保持不变。

## 五、金属的腐蚀与防护

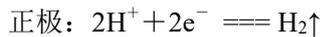
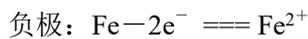
金属表面与周围的物质发生化学反应或因电化学作用而遭到破坏，称为金属腐蚀。金属腐蚀分为化学腐蚀和电化学腐蚀。

### 1. 金属电化学腐蚀的原理

#### (1) 吸氧腐蚀（中性或碱性）



#### (2) 析氢腐蚀（酸性）



(3) 电化学腐蚀的结果是负极金属被氧化成阳离子而损耗。

### 2. 金属的防护

(1) 牺牲阳极保护法：将还原性较强的金属作为保护极，与被保护金属相连构成原电池。

(2) 阴极电保护法（外加电流阴极保护法）：将被保护金属与外加直流电源的负极相连让其成为阴极，将外加直流电源的正极接到一些废铁上，使废铁成为阳极。

## 第 14 部分 化学反应的方向、限度与速率（选修）

### 一、化学反应的方向

1. 熵：用来描述体系的无序程度，符号为  $S$ 。
2. 对于同一物质： $S(g) > S(l) > S(s)$
3. 等温、等压及除了体积功以外不做其它功的条件下，化学反应的方向的判据： $\Delta H - T\Delta S$   
 $\Delta H - T\Delta S < 0$  反应正向能自发进行  
 $\Delta H - T\Delta S = 0$  反应达到平衡状态  
 $\Delta H - T\Delta S > 0$  反应正向不能自发进行
4. 吉布斯自由能
  - (1) 吉布斯自由能： $G = H - TS$
  - (2) 吉布斯自由能变： $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$

### 二、化学平衡常数

对于化学反应： $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$

1.  $K = \frac{c_{\text{平}}^c(\text{C}) \cdot c_{\text{平}}^d(\text{D})}{c_{\text{平}}^a(\text{A}) \cdot c_{\text{平}}^b(\text{B})}$ ，温度一定时， $K$  为常数，称为化学平衡常数，简称平衡常数。

2. 纯固体或纯液体不列入平衡常数的表达式中。

3. 任意状态下，浓度商  $Q = \frac{c^c(\text{C}) \cdot c^d(\text{D})}{c^a(\text{A}) \cdot c^b(\text{B})}$

$Q > K$ ，向逆反应方向进行； $Q = K$ ，反应达到平衡； $Q < K$ ，向正反应方向进行。

4. 平衡转化率  $\alpha(\text{A}) = \frac{n_{\text{初始}}(\text{A}) - n_{\text{平衡}}(\text{A})}{n_{\text{初始}}(\text{A})} \times 100\%$

#### 【注意】

1. 固体和纯液体的浓度视为常数，通常不计入平衡常数表达式中。
2.  $K$  只受温度影响。

### 三、反应条件对化学平衡的影响

1. 温度：升高温度，化学平衡向吸热方向移动；  
降低温度，化学平衡向放热方向移动。
2. 浓度：增大反应物浓度或减小生成物浓度，化学平衡向正反应方向移动；  
减小反应物浓度或增大生成物浓度，化学平衡向逆反应方向移动。
3. 压强：增大压强，化学平衡向化学方程式中气态物质化学式前系数减小的方向移动；  
减小压强，化学平衡向化学方程式中气态物质化学式前系数增大的方向移动。
4. 催化剂：催化剂不使平衡发生移动。



#### 4. 温度对化学反应速率的影响

(1) 范托夫经验规律：对于在溶液中发生的反应，温度每升高 10K，反应速率提高到原来的 2-4 倍。

(2) 过渡态的能量与反应物的平均能量之差  $E_a$  称为反应的活化能。活化能越高，反应越难发生。

(3) 活化分子有效碰撞理论

	分子的平均能量	活化分子的百分数	活化分子的浓度	化学反应速率
增大反应物浓度	不变	不变	↗	↗
升高温度	↗	↗	↗	↗
增大压强				
加入催化剂	不变	↗	↗	↗

(4) 阿伦尼乌斯公式：

$$k = A e^{-\frac{E_a}{RT}} \quad (k \text{ 为速率常数, } A \text{ 为比例系数, } e \text{ 为自然对数的底, } R \text{ 为理想气体常数, } E_a \text{ 为活化能)}$$

①  $E_a$  越大，改变温度对反应速率的影响程度越大；

②  $\ln k = -\frac{E_a}{T} + C$ ，以  $\ln k$  对  $\frac{1}{T}$  作图应为一条直线。

#### 5. 催化剂对化学反应速率的影响

(1) 催化剂通过参与反应改变反应历程、改变反应的活化能来改变化学反应速率。

(2) 催化剂不能改变化学反应的平衡常数，不能改变平衡转化率。

(3) 催化剂具有选择性。

(4) 催化剂的活性除了与自身成分有关外，还受到粒径、合成方法等因素以及反应温度、压强等条件的影晌。

(5) 有些物质的存在会使催化剂明显失效，这种现象称为催化剂中毒。

#### 六、化学反应条件的优化——工业合成氨



	温度	压强	浓度	催化剂
提高反应的平衡转化率	低温	高压	氮气、氢气的体积比为 1 : 3 时平衡混合物中氨的含量最高	无影响
提高反应的速率	高温	高压	根据 $v = kc(N_2) \cdot c^{1.5}(H_2) \cdot c^{-1}(NH_3)$ ，增大 $N_2$ 、 $H_2$ 浓度，并及时分离出 $NH_3$	使用催化剂
适宜条件	700K 左右	考虑综合经济效益，压强并非越高越好	氮气、氢气的体积比为 1 : 2.8	一般选择铁做催化剂

## 七、气体的分压

### 1. 分压

(1) 混合气体中气体 B 的分压:  $p_B = x_B p$  (式中  $x_B$  为气体 B 的物质的量分数,  $p$  为混合气体在同温度下的总压)

(2) 混合气体的总压等于同温度下其组分气体的分压之和:  $p = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + \dots$

(3) 分压  $p_B$  是气体 B 单独占有混合气体的体积 V 时显示的压力。

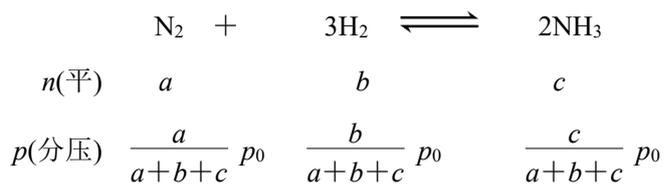
### 2. 用分压表示平衡常数

(1) 可逆化学反应  $m\text{A}(\text{g}) + n\text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons p\text{C}(\text{g}) + q\text{D}(\text{g})$  在一定温度下达到化学平衡时, 用分压表示平衡常数:

$$K_p = \frac{p^p(\text{C}) \cdot p^q(\text{D})}{p^m(\text{A}) \cdot p^n(\text{B})} \quad [\text{式中 } p(\text{A}), p(\text{B}), p(\text{C}), p(\text{D}) \text{ 分别为平衡时 A、B、C、D 各气体的分压}]$$

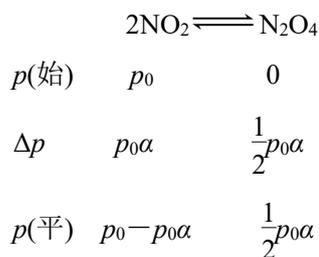
(2)  $K_p$  的两种计算模板

① 平衡总压为  $p$



$$K_p = \frac{\left(\frac{c}{a+b+c} p_0\right)^2}{\left(\frac{a}{a+b+c} p_0\right) \left(\frac{b}{a+b+c} p_0\right)^3}$$

② 刚性容器起始压强为  $p_0$ , 平衡转化率为  $\alpha$



$$K_p = \frac{\frac{1}{2}p_0\alpha}{(p_0 - p_0\alpha)^2}$$

## 第 15 部分 物质在水溶液中的行为 (选修)

### 一、水的电离

1.  $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OH}^-$ 。
2. 水的离子积常数 (水的离子积):  $K_w = c_{\text{平}}(\text{H}^+) \cdot c_{\text{平}}(\text{OH}^-)$ 。
3. 25°C 时, 纯水中  $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 1 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$ ,  $K_w = 1 \times 10^{-14} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$ 。

### 二、电解质在水溶液中的存在形态

1. 在稀的水溶液中能完全电离的电解质称为强电解质 (强酸、强碱、大多数盐), 部分电离的电解质称为弱电解质 (弱酸、弱碱、水)。

#### 2. 电离方程式的书写

- ① 强电解质用 “ $\rightleftharpoons$ ” 号, 弱电解质用 “ $\rightleftharpoons$ ” 号。
- ② 多元弱酸, 分步电离, 分步书写, 如  $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ ,  $\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$ 。
- ③ 多元弱碱, 分步电离, 一步书写, 如  $\text{Fe}(\text{OH})_3 \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+} + 3\text{OH}^-$ 。
- ④ 酸式盐, 在水溶液中,  $\text{NaHSO}_4 \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NaHCO}_3 \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{HCO}_3^-$ ;  
在熔融状态时,  $\text{NaHSO}_4 \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{HSO}_4^-$ 。

3. 电解质溶液中, 离子、分子与水分子相互吸引, 以 “水合离子” (如  $\text{H}_3\text{O}^+$ )、 “水合分子” 的形态存在。这种溶质离子或分子与溶剂分子相互吸引的作用叫做溶剂化作用。

### 三、水溶液的酸碱性与 pH

1. 溶液的酸碱性取决于  $[\text{H}^+]$  与  $[\text{OH}^-]$  的相对大小。

- (1) 酸性溶液:  $c_{\text{平}}(\text{H}^+) > c_{\text{平}}(\text{OH}^-)$ 。
- (2) 中性溶液:  $c_{\text{平}}(\text{H}^+) = c_{\text{平}}(\text{OH}^-)$ 。
- (3) 碱性溶液:  $c_{\text{平}}(\text{H}^+) < c_{\text{平}}(\text{OH}^-)$ 。

2.  $\text{pH} = -\lg c_{\text{平}}(\text{H}^+)$

3. 室温下, 酸性溶液的  $\text{pH} < 7$ , 中性溶液的  $\text{pH} = 7$ , 碱性溶液的  $\text{pH} > 7$ 。

#### 【注意】

溶液稀释, pH 向 7 接近但不超过 7。

### 四、弱电解质的电离平衡

1. 电离平衡常数 (电离常数)

(1) 表达式

一元弱酸 HA 的电离常数: 根据  $\text{HA} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{A}^-$ , 可表示为  $K_a = \frac{c_{\text{平}}(\text{H}^+) \cdot c_{\text{平}}(\text{A}^-)}{c_{\text{平}}(\text{HA})}$ 。

一元弱碱 BOH 的电离常数: 根据  $\text{BOH} \rightleftharpoons \text{B}^+ + \text{OH}^-$ , 可表示为  $K_b = \frac{c_{\text{平}}(\text{B}^+) \cdot c_{\text{平}}(\text{OH}^-)}{c_{\text{平}}(\text{BOH})}$ 。

(2) 特点

多元弱酸是分步电离的,  $K_1 \gg K_2 \dots$ , 所以其酸性主要决定于第一步电离。

(3) 意义

相同条件下,  $K$  值越大, 表示该弱电解质越易电离, 所对应的酸性或碱性相对越强。

## 2. 影响电离平衡的因素

- (1) 稀释: 越稀越电离;
- (2) 升高温度, 促进电离。

### 【注意】

1. 一元弱酸 HA 的  $K_a$  数值很小时, 浓度为  $c_0$  的 HA 溶液达到平衡时  $c_{\text{平}}(\text{H}^+) \approx \sqrt{c_0 \cdot K_a}$ 。

2. 酸性:  $\text{H}_3\text{PO}_4$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_3$ 、 $\text{CH}_3\text{COOH} > \text{H}_2\text{CO}_3 > \text{H}_2\text{SiO}_3$ 、 $\text{HClO}$

## 3. 强弱电解质比较

(1) 等体积、等浓度的  $\text{HCl}$ 、 $\text{CH}_3\text{COOH}$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_4$  与足量锌反应

速率:  $\text{H}_2\text{SO}_4 > \text{HCl} > \text{CH}_3\text{COOH}$

生成  $\text{H}_2$  的体积:  $\text{H}_2\text{SO}_4 > \text{HCl} = \text{CH}_3\text{COOH}$

(2) 等体积、等 pH 的  $\text{HCl}$ 、 $\text{CH}_3\text{COOH}$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_4$  与足量锌反应

开始速率:  $\text{HCl} = \text{CH}_3\text{COOH} = \text{H}_2\text{SO}_4$

反应开始后速率:  $\text{CH}_3\text{COOH} > \text{HCl} = \text{H}_2\text{SO}_4$

生成  $\text{H}_2$  的体积:  $\text{CH}_3\text{COOH} > \text{HCl} = \text{H}_2\text{SO}_4$

## 五、盐类的水解

1. 定义: 溶液中由盐电离产生的弱酸酸根离子或弱碱阳离子与水中的  $\text{H}^+$  或  $\text{OH}^-$  结合生成弱电解质的过程, 叫做盐类的水解。盐类的水解是中和反应的逆反应。

## 2. 盐类水解的规律:

谁强显谁性, 谁弱谁水解, 越弱越水解。

## 3. 水解方程式的书写

(1) 用 “ ”, 不写 “↓” 和 “↑”。

(2) 多元弱酸盐的水解分步表示。如  $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$ 、 $\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{OH}^-$ 。

(3) 多元弱碱阳离子的水解简化成一步完成, 如  $\text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+$ 。

## 4. 水解平衡常数

(1) 水解反应的平衡常数叫作水解平衡常数或水解常数, 用  $K_h$  表示。

(2) 水解常数与水解生成弱电解质的电离常数的乘积等于水的离子积常数, 如:  $\text{A}^-$  的水解常数

$$K_h = \frac{K_w}{K_a(\text{HA})}。$$

## 5. 水解平衡的移动:

①越稀越水解;

②升高温度, 促进水解。

## 6. 盐类水解的应用

- (1) 配制  $\text{FeCl}_3$ 、 $\text{SnCl}_2$  溶液：直接溶解在浓盐酸中加水稀释。
- (2)  $\text{Mg}$  放入  $\text{NH}_4\text{Cl}$ 、 $\text{CuCl}_2$ 、 $\text{FeCl}_3$  溶液中产生  $\text{H}_2$ 。
- (3) 使用热碱水 ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) 清洗厨房油污。
- (4) 泡沫灭火器 $[\text{NaHCO}_3 + \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3]$ 原理： $3\text{HCO}_3^- + \text{Al}^{3+} \rightleftharpoons 3\text{CO}_2\uparrow + \text{Al}(\text{OH})_3\downarrow$ (双水解反应)。
- (5) 硫化铝在水中不能存在： $\text{Al}_2\text{S}_3 + 6\text{H}_2\text{O} = 2\text{Al}(\text{OH})_3\downarrow + 3\text{H}_2\text{S}\uparrow$
- (6) 硫酸铝钾或硫酸铝作为净水剂： $\text{Al}^{3+}$ 的水解与天然水中  $\text{HCO}_3^-$ 的水解互相促进，形成  $\text{Al}(\text{OH})_3$  胶体，吸附并沉降水中的悬浮物。
- (7) 铵态氮肥不能与草木灰 ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) 混用。
- (8)  $\text{FeCl}_3$ 、 $\text{AlCl}_3$ 、 $\text{CuCl}_2$ 、 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  等溶液蒸干不能得到原溶质。(  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$  仍得到原溶质)
- (9)  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  晶体加热易水解，常在  $\text{HCl}$  气体中加热制取其无水盐。

## 7. 缓冲溶液

能够缓解少量外来酸、碱或水产生的影响，维持溶液 pH 不发生明显变化的作用叫作缓冲作用；具有缓冲作用的溶液叫作缓冲溶液。

常见的缓冲溶液：弱酸及其对应的盐（如  $\text{CH}_3\text{COOH}-\text{CH}_3\text{COONa}$ 、 $\text{H}_2\text{CO}_3-\text{NaHCO}_3$ ）、多元弱酸的酸式盐及其对应的次级盐（如  $\text{NaHCO}_3-\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{NaH}_2\text{PO}_4-\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ）、弱碱及其对应的盐（如  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}-\text{NH}_4\text{Cl}$ ）。

### 【注意】

#### 1. 等体积的下列溶液混合所得溶液的酸碱性：

- (1) 0.1 mol/L  $\text{CH}_3\text{COOH}$  溶液和 0.1 mol/L  $\text{NaOH}$  溶液：碱性
- (2) 0.1 mol/L  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液和 0.1 mol/L  $\text{NaOH}$  溶液：酸性
- (3) pH=1 的  $\text{CH}_3\text{COOH}$  溶液和 pH=13 的  $\text{NaOH}$  溶液：酸性
- (4) pH=1 的  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液和 pH=13 的  $\text{NaOH}$  溶液：中性
- (5) 0.1 mol/L  $\text{CH}_3\text{COOH}$  溶液和 0.1 mol/L  $\text{CH}_3\text{COONa}$  溶液：酸性

0.1 mol/L  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  溶液和 0.1 mol/L  $\text{NH}_4\text{Cl}$  溶液：碱性

#### 2. 0.1 mol/L $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 与 0.1 mol/L $\text{NH}_4\text{Cl}$ 溶液等体积混合（显碱性）

电荷守恒： $[\text{NH}_4^+] + [\text{H}^+] = [\text{OH}^-] + [\text{Cl}^-]$

物料守恒： $[\text{NH}_4^+] + [\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}] = 2[\text{Cl}^-]$

粒子浓度： $\text{NH}_4^+ > \text{Cl}^- > \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} > \text{OH}^- > \text{H}^+$

## 六、沉淀溶解平衡

1. 沉淀溶解平衡： $A_mB_n(s) \rightleftharpoons mA^{n+}(aq) + nB^{m-}(aq)$  (aq 可省略)

(1) 溶度积常数 (溶度积)： $K_{sp}(A_mB_n) = c_{\text{平}}^m(A^{n+}) \cdot c_{\text{平}}^n(B^{m-})$

(2) 对于相同类型的难溶电解质， $K_{sp}$  越大，难溶电解质在水中的溶解程度就越高。

2. 沉淀的溶解与生成

用浓度商 ( $Q$ ) 与平衡常数 ( $K_{sp}$ ) 的关系来分析。

$Q > K_{sp}$  生成沉淀

$Q = K_{sp}$  平衡状态

$Q < K_{sp}$  固体溶解

3. 沉淀的转化：通常，一种沉淀可以转化为更难溶的沉淀。

(1)  $ZnS(白) + Cu^{2+} \rightleftharpoons CuS(黑) + Zn^{2+}$

(2)  $FeS$ 、 $MnS$ 、 $H_2S$ 、 $Na_2S$ 、 $NaHS$ 、 $(NH_4)_2S$  等除去废水中的  $Cu^{2+}$ 、 $Hg^{2+}$ 、 $Pb^{2+}$  等重金属离子。

如  $CuSO_4 + H_2S \rightleftharpoons CuS \downarrow + H_2SO_4$

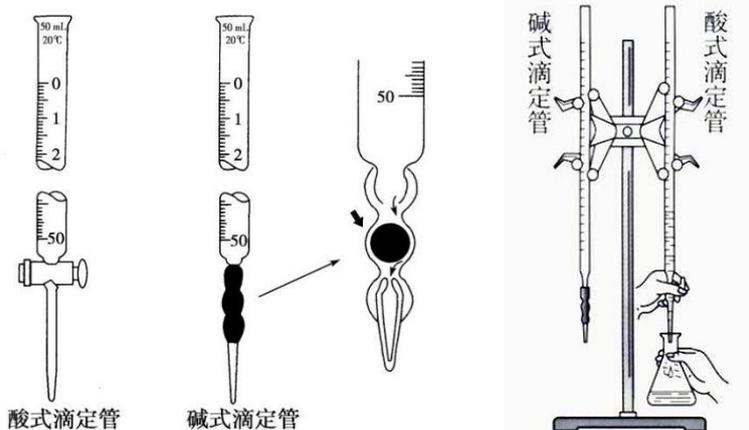
(3) 水垢中的  $Mg(OH)_2$  生成过程： $Mg(HCO_3)_2 \xrightarrow{\Delta} MgCO_3 \rightarrow Mg(OH)_2$ 。

(4) 向  $AgNO_3$  溶液中依次滴加适量  $NaCl$ 、 $NaBr$ 、 $KI$ ： $AgCl(白) \rightarrow AgBr(淡黄) \rightarrow AgI(黄)$

(5) 除去  $Cu^{2+}$  中的  $Fe^{3+}$  杂质：加入  $CuO/Cu(OH)_2/CuCO_3$  等调节 pH 至  $Fe(OH)_3$  沉淀完全。

## 七、酸碱中和滴定

1. 实验仪器



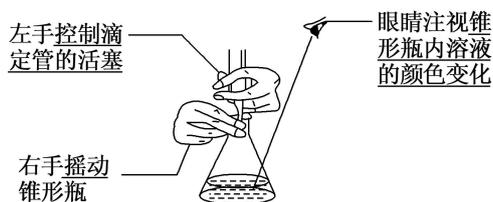
2. 实验操作(以标准盐酸滴定待测 NaOH 溶液为例)

(1) 滴定前

滴定管：查漏→洗涤→润洗→装液→调液面→记录。

锥形瓶：注碱液→记读数→加指示剂。

(2) 滴定时



### (3) 终点判断

当滴入半滴标准溶液后，溶液由红色变为无色，且在半分钟内不恢复原来的颜色，视为滴定终点且记录标准溶液的体积。

### (4) 数据处理

按上述操作重复 2~3 次，求出用去标准溶液体积的平均值，根据  $c(\text{NaOH}) = \frac{c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl})}{V(\text{NaOH})}$  计算。

#### 【注意】

#### 1. 常用酸碱指示剂及其变色范围

指示剂	变色范围的 pH		
甲基橙	<3.1 红色	3.1~4.4 橙色	>4.4 黄色
酚酞	<8.2 无色	8.2~10.0 粉(浅)红色	>10.0 红色

2. 酸碱中和滴定中一般不用石蕊作指示剂，因为其变色范围大，颜色变化不明显。

#### 3. 误差分析

操作	$c(\text{待测})$
酸式滴定管未用标准酸溶液润洗	偏高
碱式滴定管未用待测溶液润洗	偏低
锥形瓶用待测溶液润洗	偏高
锥形瓶洗净后还留有蒸馏水	无影响
取碱液的滴定管开始有气泡，读数时气泡消失	偏低
酸式滴定管滴定前有气泡，滴定终点时气泡消失	偏高
振荡锥形瓶时部分液体溅出	偏低
部分酸液滴在锥形瓶外	偏高
酸式滴定管滴定前读数正确，滴定后俯视读数(或前仰后俯)	偏低
酸式滴定管滴定前读数正确，滴定后仰视读数(或前俯后仰)	偏高

4. 现在已经有了酸碱通用的聚四氟乙烯滴定管，其结构与酸式滴定管相同。

## 第 16 部分 物质结构与性质（选修）

### 一、原子核外电子排布原理

#### 1. 电子层、能级与原子轨道

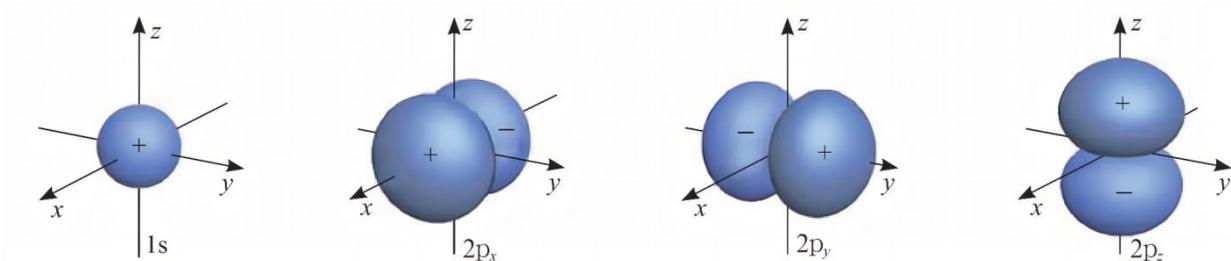
(1) 电子层( $n$ ):  $n$  的取值为正整数 1、2、3、4、5、6、7, 对应的符号为 K、L、M、N、O、P、Q。  $n$  越大, 电子离核的平均距离越远, 能量越高。

(2) 能级: 同一电子层里的电子的能量也可能不同, 又将其分成不同的能级, 通常用 s、p、d、f 等表示, 同一电子层里, 各能级的能量按 s、p、d、f 的顺序升高, 即  $E(ns) < E(np) < E(nd) < E(nf)$ 。第一电子层(K), 只有 s 能级; 第二电子层(L), 有 s、p 两种能级, p 能级上有三个原子轨道  $p_x$ 、 $p_y$ 、 $p_z$ , 它们具有相同的能量; 第三电子层(M), 有 s、p、d 三种能级。

电子层或量子数 $n$	符号	能级	原子轨道
$n=1$	K	1s	1s
$n=2$	L	2s	2s
		2p	$2p_x$ $2p_y$ $2p_z$
$n=3$	M	3s	3s
		3p	$3p_x$ $3p_y$ $3p_z$
		3d	3d (包含 5 个原子轨道)
$n=4$	N	4s	4s
		4p	$4p_x$ $4p_y$ $4p_z$
		4d	4d (包含 5 个原子轨道)
		4f	4f (包含 7 个原子轨道)
...	...	...	...

(3) 原子轨道: 原子中的单个电子的空间运动状态。

原子轨道	轨道形状	轨道个数
s	球形	1
p	哑铃形	3



## 2. 基态原子的核外电子排布

### (1) 能量最低原理

电子尽可能地先占有能量低的轨道，然后进入能量高的轨道，使整个原子的能量处于最低状态。

基态原子核外电子在原子轨道上的排布为： $1s \rightarrow 2s \rightarrow 2p \rightarrow 3s \rightarrow 3p \rightarrow 4s \rightarrow 3d \rightarrow 4p \rightarrow \dots$

### (2) 泡利不相容原理

每个原子轨道里最多只能容纳 2 个电子，且自旋方向相反。如 2s 轨道上的电子排布为  $\begin{array}{|c|} \hline \uparrow\downarrow \\ \hline \end{array}$ ，不能表示为  $\begin{array}{|c|} \hline \uparrow\uparrow \\ \hline \end{array}$ 。

### (3) 洪特规则

当电子排布在同一能级的不同轨道时，基态原子中的电子总是优先占据一个轨道，且自旋方向相同。

如  $2p^3$  的电子排布为  $\begin{array}{|c|c|c|} \hline \uparrow & \uparrow & \uparrow \\ \hline \end{array}$ ，不能表示为  $\begin{array}{|c|c|c|} \hline \uparrow\downarrow & \uparrow & \\ \hline \end{array}$  或  $\begin{array}{|c|c|c|} \hline \uparrow & \downarrow & \uparrow \\ \hline \end{array}$ 。

洪特规则特例：当能量相同的原子轨道在全满( $p^6$ 、 $d^{10}$ 、 $f^{14}$ )、半满( $p^3$ 、 $d^5$ 、 $f^7$ )和全空( $p^0$ 、 $d^0$ 、 $f^0$ )状态时，体系的能量最低，如：Cr 的电子排布式为  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^1$ ，Cu 的电子排布式为  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$ 。

## 3. 原子状态与原子光谱

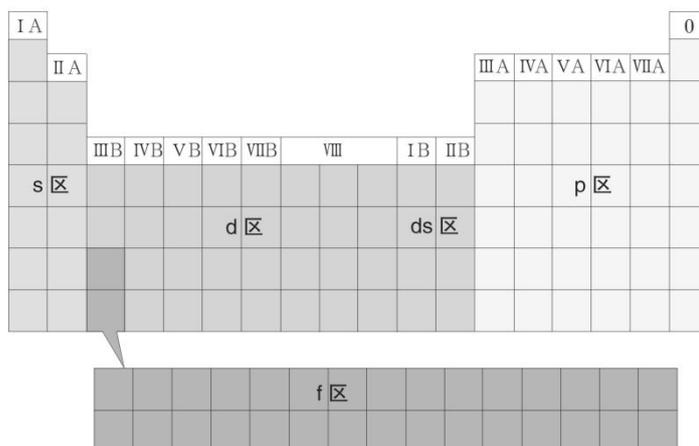


## 4. 电子排布式和轨道表示式(或电子排布图)

	以硫原子为例
电子排布式	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$
简化电子排布式	$[\text{Ne}] 3s^2 3p^4$
轨道表示式(或电子排布图)	$\begin{array}{cccccc} 1s & 2s & 2p & 3s & 3p & \\ \uparrow\downarrow & \uparrow\downarrow & \uparrow\downarrow\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow & \uparrow\downarrow & \uparrow\downarrow\uparrow\uparrow & \end{array}$
价电子排布式	$3s^2 3p^4$

## 二、原子结构与元素性质

### 1. 元素周期表的分区



### 2. 元素周期律

#### (1) 电离能

气态原子或气态离子失去一个电子所需要的最小能量叫做电离能，符号  $I$ ，单位  $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。

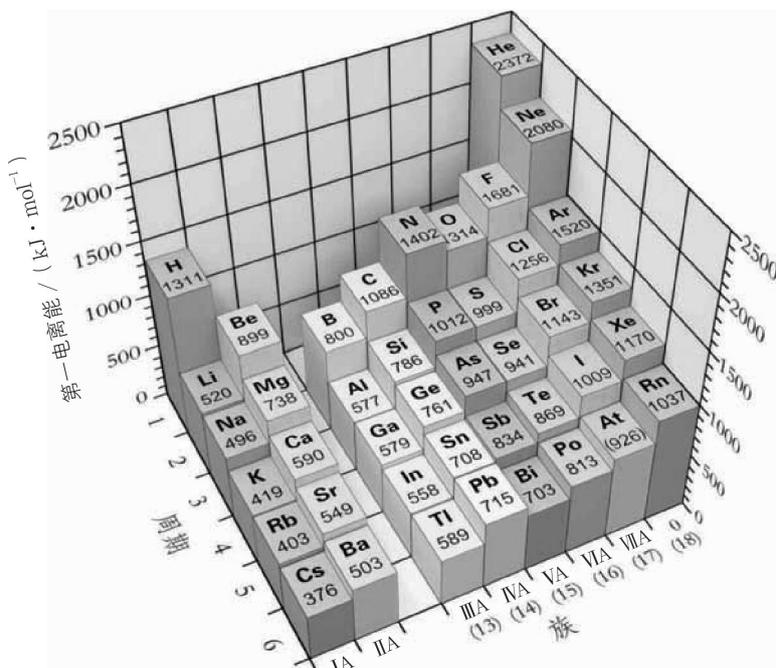
①第一电离能：处于基态的气态原子失去一个电子生成+1价气态阳离子所需要的能量，符号： $I_1$ ，单位： $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。

#### ②规律

a.同周期：第一种元素的第一电离能最小，最后一种元素的第一电离能最大，从左到右总体呈现逐渐增大的变化趋势。

b.同族元素：从上至下第一电离能逐渐减小。

c.同种原子：逐级电离能越来越大( $I_1 < I_2 < I_3 \dots$ )。



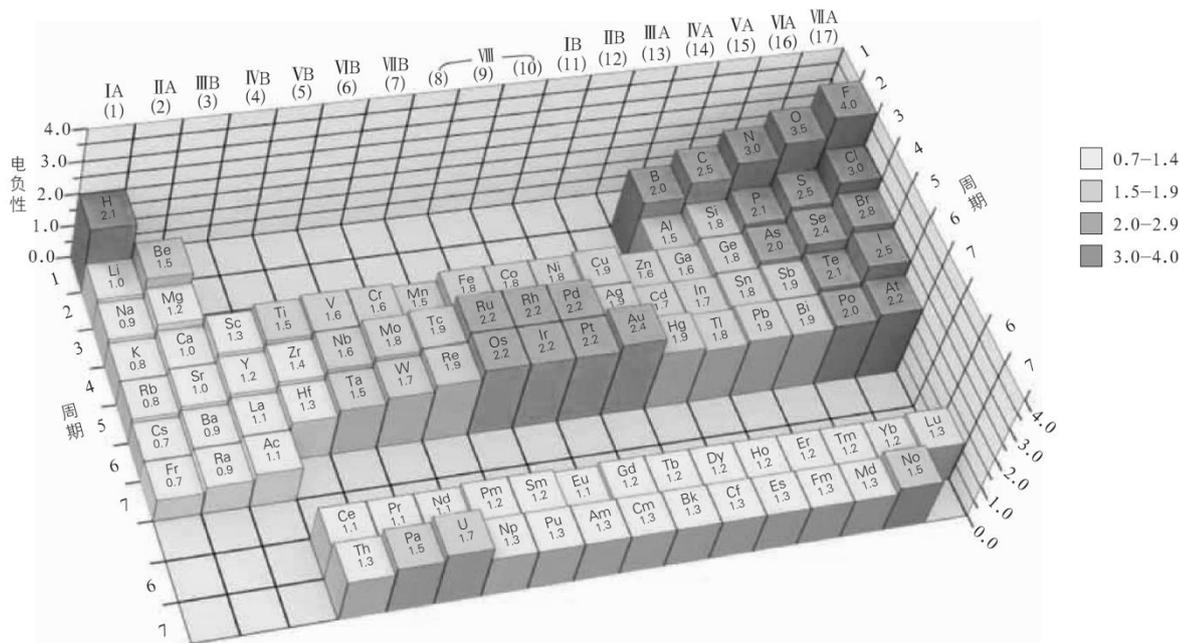
## (2) 电负性

①含义：元素的原子在化合物中吸引电子能力的标度。元素的电负性越大，表示其原子在化合物中吸引电子的能力越强。

②标准：以最活泼的非金属元素氟的电负性为 4.0 作为相对标准，计算得出其他元素的电负性(稀有气体未计)。

### ③变化规律

在元素周期表中，同周期从左至右，元素的电负性逐渐增大，同主族从上至下，元素的电负性逐渐减小。



## 三、共价键

### 1. 本质与特征

(1) 本质：在原子之间形成共用电子对(原子轨道的重叠)。

(2) 特征：具有饱和性和方向性。

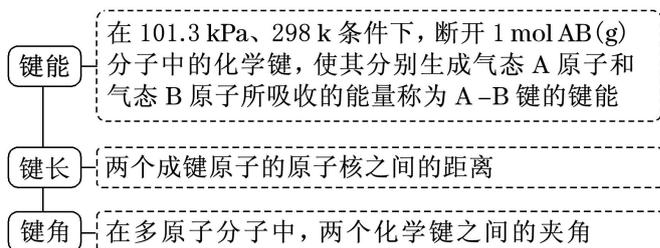
### 2. 分类

分类依据		类型
形成共价键的原子轨道重叠方式	$\sigma$ 键	原子轨道“头碰头”重叠
	$\pi$ 键	原子轨道“肩并肩”重叠
形成共价键的电子对是否偏移	极性键	共用电子发生偏移
	非极性键	共用电子不发生偏移
原子间共用电子对的数目	单键	原子间共用一对电子
	双键	原子间共用两对电子
	三键	原子间共用三对电子

【注意】两原子的电负性相差大于 1.7 时，形成离子键，小于 1.7，形成共价键。

### 3. 键参数

#### (1) 概念



(2) 键长越短，键能越大，分子越稳定。

### 4. 等电子体

原子总数相同且价电子总数相等的分子或离子互为等电子体，等电子体具有相同的空间结构和相同的化学键类型，物理性质相似。

## 四、分子的空间结构

### 1. 价电子对互斥 (VSEPR) 理论

#### (1) 理论要点

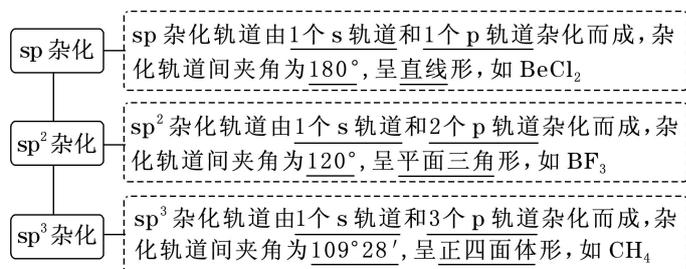
① 价电子对在空间上彼此相距越远时，排斥力越小，体系的能量越低。

② 孤电子对的排斥力较大，孤电子对越多，排斥力越强，键角越小。

#### (2) 价电子对互斥理论与分子立体构型

价电子对数	价电子对立体构型	成键电子对数	孤电子对数	分子空间结构	实例
2	直线形	2	0	直线形	CO <sub>2</sub>
3	平面三角形	3	0	平面三角形	BF <sub>3</sub>
		2	1	V 形	SO <sub>2</sub>
4	四面体形	4	0	正四面体形	CH <sub>4</sub>
		3	1	三角锥形	NH <sub>3</sub>
		2	2	V 形	H <sub>2</sub> O
5	三角双锥形	5	0	三角双锥形	PCl <sub>5</sub>
6	八面体形	5	0	八面体形	SF <sub>6</sub>

### 2. 杂化轨道理论



【注意】中心原子的价电子对数=成键电子对数+孤电子对数；

$$\text{孤电子对数} = \frac{\text{中心原子的价电子数} - \text{其它原子的未成对电子数之和}}{2} ;$$

未成对电子数：H、F、Cl、Br、I 都为 1，O 为 2。

## 五、分子的性质

### (1) 分子的手性

①分子本身和它们的镜像不能重叠，这类分子表现出手性。手性分子和它们的镜像分子互为对映异构体，互为对映异构体的两种手性分子具有相反的旋光性。

②仅通过单键连接其它原子的碳原子，当其所连接的四个原子或基团均不相同，这个碳原子称为不对称碳原子，含有不对称碳原子的分子为手性分子，如



### (2) 分子的极性

#### ①定义

极性分子：分子内存在正负两极的分子称为极性分子，如 HCl、H<sub>2</sub>O、CH<sub>3</sub>Cl 等。

非极性分子：分子内不存在正负两极的分子称为非极性分子，如 H<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 等。

②极性分子的正负电荷重心不重合，非极性分子的正负电荷重心重合。

③在相对分子质量相同的情况下，极性分子构成的物质比非极性分子构成的物质具有更高的沸点。

④相似相溶原理：极性分子易溶于极性溶剂，非极性分子易溶于非极性溶剂。如油脂极性较小，难溶于水，而溶于非极性或极性较小的溶剂。

### (3) 无机含氧酸分子的酸性

非-OH 氧原子个数越多，酸性越强，如酸性：HClO < HClO<sub>2</sub> < HClO<sub>3</sub> < HClO<sub>4</sub>。

## 六、离子键、配位键与金属键

### 1. 离子键

(1) 本质：静电作用。

(2) 特征：没有方向性和饱和性。

### 2. 配位键

(1) 配位键的形成：成键原子一方提供孤电子对，另一方提供空轨道形成共价键。

(2) 配位键的表示：常用“→”来表示配位键，箭头指向接受孤电子对的原子。

(3) 配位化合物

①含有配位键的物质称为配位化合物，简称配合物。

②中心原子或中心离子提供空轨道，如 Fe<sup>3+</sup>、Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup>、Ag<sup>+</sup> 等。

③配位提供孤电子对，如 H<sub>2</sub>O、NH<sub>3</sub>、CO、F<sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>、CN<sup>-</sup> 等。

(4) 配合物的制备与应用

水合铜离子[Cu(H<sub>2</sub>O)<sub>4</sub>]<sup>2+</sup>：蓝色

四氯合铜离子[CuCl<sub>4</sub>]<sup>2-</sup>：黄绿色

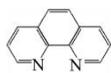
四氨合铜离子 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ ：深蓝色

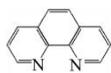
水合铁离子 $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ ：淡紫色（稀溶液时为无色）

四氯合铁离子 $[\text{FeCl}_4]^-$ ：黄色

$[\text{Fe}(\text{SCN})_n]_{3-n}$  ( $n=1\sim 6$ )：血红色

邻二氮菲亚铁离子 $[\text{Fe}(\text{phen})_3]^{2+}$ ：橙红色



【注意】1.  $\text{Fe}^{2+}$ 检验：邻二氮菲（phen, , 生成橙红色溶液）；铁氰化钾  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ （生成蓝色沉淀）。

2.  $\text{Fe}^{3+}$ 检验： $\text{KSCN}$ （生成血红色溶液）；亚铁氰化钾  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ （生成蓝色沉淀）。

3. 用  $\text{SCN}^-$  检验  $\text{Fe}^{3+}$  时 pH 应小于 3，原因： $\text{pH}>3$  时， $\text{OH}^-$  更易与  $\text{Fe}^{3+}$  结合， $\text{SCN}^-$  无法竞争到  $\text{Fe}^{3+}$ 。

4. 用邻二氮菲检验  $\text{Fe}^{2+}$  的适宜 pH 范围是 2~9，原因： $\text{pH}<2$ ，邻二氮菲中的 N 优先与  $\text{H}^+$  形成配位键， $\text{pH}>9$ ， $\text{OH}^-$  与  $\text{Fe}^{2+}$  结合。

### 3. 金属键

(1) 定义：“自由电子”和金属阳离子之间的强的相互作用叫做金属键。

(2) 本质：电性作用。

(3) 特点：无方向性和饱和性；电子在整个三维空间里运动，属于整块固态金属。

## 七、分子间作用力

1. 分子间作用力最常见的是范德华力和氢键，强弱：范德华力<氢键<化学键。

### 2. 范德华力

(1) 实质：电性作用。

(2) 范德华力没有饱和性和方向性。

(3) 一般来说，组成和结构相似的物质，随着相对分子质量的增加，范德华力逐渐增大。

### 3. 氢键

(1) 形成：已经与电负性很强的原子形成共价键的氢原子(该氢原子几乎为裸露的质子)与另一个分子中电负性很强的原子之间的作用力，称为氢键。

(2) 表示方法： $\text{X}-\text{H}\cdots\text{Y}$  ( $\text{X}$ 、 $\text{Y}$  是电负性很强的原子，一般为 N、O、F 三种元素)

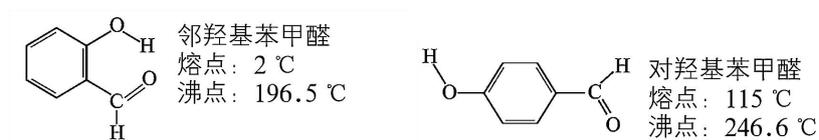
(3) 特征：具有一定的方向性和饱和性。

(4) 分类：氢键包括分子内氢键和分子间氢键两种。

(5) 分子间氢键对物质性质的影响：主要表现为使物质的熔、沸点升高，对电离和溶解度等产生影响。

### 【注意】

1. 熔点、沸点：邻羟基苯甲醛（分子内氢键）<对羟基苯甲醛（分子间氢键）。



2. 羊毛织品水洗后变形：水使蛋白质分子中氨基（-NH<sub>2</sub>）和羰基（ $\text{C}=\text{O}$ ）间氢键发生移动。

## 八、晶体常识

### 1. 晶体与非晶体

比较		晶体	非晶体
结构特征		构成粒子周期性有序排列	构成粒子无序排列
性质特征	自范性	有	无
	熔点	固定	不固定
	异同表现	各向异性	各向同性
	对称性	特定的对称性	无
二者区别方法	间接方法	测定其是否有固定的熔点	
	科学方法	对固体进行 X-射线衍射实验	

### 2. 晶胞

(1) 概念：晶体结构中最小的重复单元称为晶胞，晶胞的形状为平行六面体。

(2) 晶体中晶胞的排列——无隙并置

无隙：相邻晶胞之间没有任何间隙。

并置：所有晶胞平行排列、取向相同。

## 九、晶体的组成和性质

### 1. 金属晶体

(1) 定义：金属原子通过金属键形成的晶体称为金属晶体。

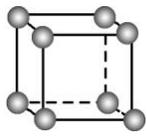
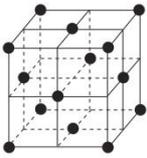
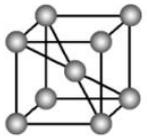
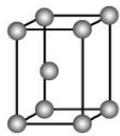
(2) 金属晶体的通性及其解释

导电性：自由电子在电场中定向移动形成电流。

导热性：金属中的自由电子在热的作用下与金属原子碰撞而导热。

延展性：当金属受到外力作用时，金属晶体中的各原子之间比较容易产生滑动，但不会破坏密堆积的排列方式，在滑动过程中“自由电子”能够维系整个金属键的存在，即金属晶体虽发生形变但不断裂。

### (3) 结构

类型	简单立方堆积	面心立方最密堆积	体心立方堆积	六方最密堆积
晶胞				
特点		又称为 A <sub>1</sub> 型或铜型，按 ABCABC... 的方式堆积	又称为 A <sub>2</sub> 型或钾型	又称为 A <sub>3</sub> 型或镁型，按 ABAB... 的方式堆积
配位数	6	12	8	12
空间利用率	52%	74%	68%	74%
物质	Po	Ca、Al、Cu、Ag、Au、Pd、Pt	Li、Na、K、Ba、W、Fe	Mg、Zn、Ti

### 2. 离子晶体

(1) 定义：离子晶体是阴、阳离子在空间呈现周期性重复排列所形成的晶体。

(2) 晶格能

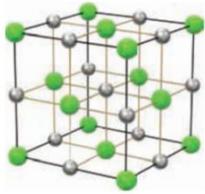
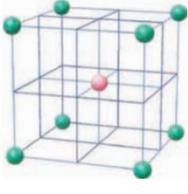
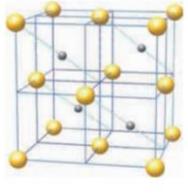
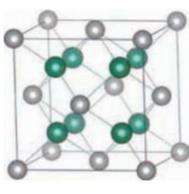
①将 1 mol 离子晶体中的阴、阳离子完全气化而远离所吸收的能量，单位： $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。

②影响因素

阴、阳离子所带电荷数的乘积：离子所带电荷数的乘积越大，晶格能越大。

阴、阳离子间的距离：距离越小，晶格能越大。

### (3) 结构

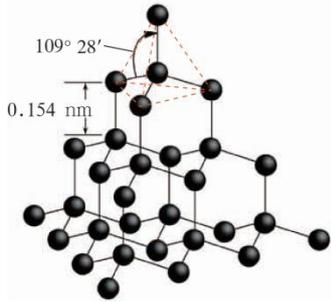
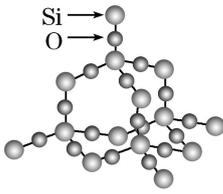
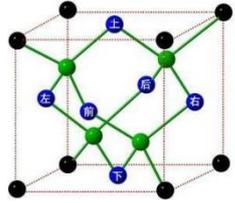
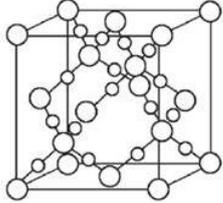
晶胞				
	● Cl <sup>-</sup> ● Na <sup>+</sup>	● Cl <sup>-</sup> ● Cs <sup>+</sup>	● S <sup>2-</sup> ● Zn <sup>2+</sup>	● F <sup>-</sup> ● Ca <sup>2+</sup>
物质	Li、Na、K 和 Rb 的卤化物，AgF、MgO 等	CsBr、CsI、NH <sub>4</sub> Cl 等	BeO、BeS 等	BaF <sub>2</sub> 、PbF <sub>2</sub> 、CeO <sub>2</sub> 等

### 3. 共价晶体

(1) 定义：相邻原子间以共价键结合而形成的具有空间立体网状结构的晶体称为共价晶体。

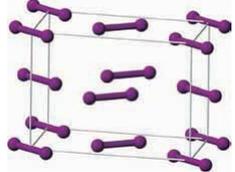
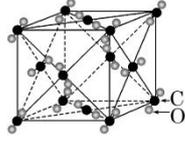
(2) 常见的共价晶体：金刚石、晶体硅 (Si)、晶体锗 (Ge)、晶体硼 (B)、碳化硅 (SiC)、二氧化硅等。

### (3) 结构

物质	金刚石	二氧化硅
结构		
晶胞		
特点	最小碳环由 6 个碳原子组成； 每个碳原子参与 4 条 C—C 键的形成，碳原子数与 C—C 键数之比为 1 : 2	最小环上有 12 个原子，即 6 个 O，6 个 Si

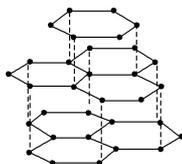
#### 4. 分子晶体

分子之间通过分子间作用力结合形成的晶体称为分子晶体。

物质	碘晶体	干冰
晶胞		

#### 5. 晶体结构的复杂性

石墨晶体既存在共价键又存在范德华力，同时存在类似金属键的作用力，这类晶体称为混合型晶体。



## 6. 晶体的比较

	金属晶体	离子晶体	共价晶体	分子晶体
构成粒子	金属阳离子、自由电子	阴、阳离子	原子	分子
粒子间的相互作用力	金属键	离子键	共价键	范德华力 (某些含氢键)
硬度	有的很大,有的很小	较大	很大	较小
熔、沸点	有的很高,有的很低	较高	很高	较低
物质类别及实例	金属单质与合金	离子化合物	金刚石、晶体硅、晶体锗、晶体硼、SiC、SiO <sub>2</sub> 、Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> 等	大多数非金属单质、气态氢化物、酸、非金属氧化物、绝大多数有机物

## 7. 液晶、纳米材料与超分子

(1) 液晶：在一定的温度范围内既具有液体的可流动性，在折射率、磁化率、电导率等宏观性质方面又表现出类似晶体的各向异性。

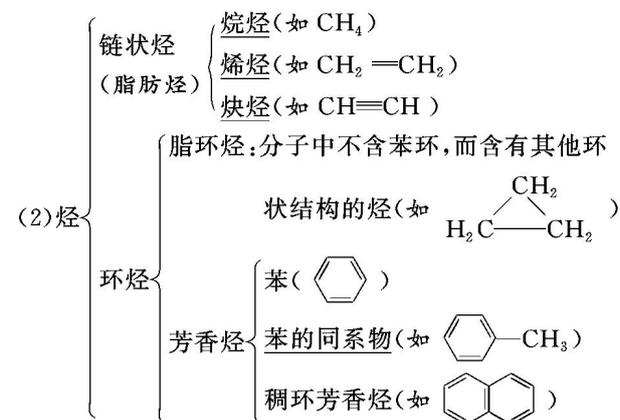
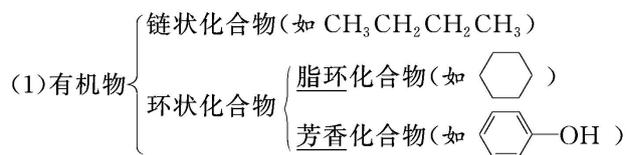
(2) 纳米材料：由直径为几或几十纳米的颗粒和颗粒间的界面两部分组成。纳米材料内部具有晶状结构，原子排列有序，而界面则为无序结构。如富勒烯、石墨烯、碳纳米管。

(3) 超分子：两个或多个分子相互“组合”在一起形成具有特定结构和功能的聚集体，能表现出不同于单个分子的性质，可以把这种聚集体看成分子层次之上的分子，称为超分子。

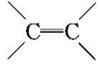
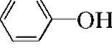
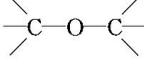
## 第 17 部分 有机化学基础（选修）

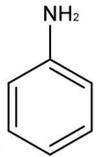
### 一、有机化合物的分类

#### 1. 按碳的骨架分类



#### 2. 按官能团分类

类别	官能团	代表物名称、结构简式
烷烃	—	甲烷 $\text{CH}_4$
烯烃	 碳碳双键	乙烯 $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$
炔烃	$-\text{C}\equiv\text{C}-$ 碳碳叁键	乙炔 $\text{HC}\equiv\text{CH}$
芳香烃	—	苯 
卤代烃	$-\text{X}$ 卤素原子 (碳卤键)	溴乙烷 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br}$
醇	$-\text{OH}$ (醇) 羟基	乙醇 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$
酚	$-\text{OH}$ (酚) 羟基	苯酚 
醚	 醚键	乙醚 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_3$

醛	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{H} \end{array}$ 醛基	乙醛 $\text{CH}_3\text{CHO}$
酮	$\begin{array}{c} (\text{R}) \\ \diagdown \\ \text{C}=\text{O} \\ \diagup \\ (\text{R}') \end{array}$ 酮羰基	丙酮 $\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{CH}_3$
羧酸	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{O}-\text{H} \end{array}$ 羧基	乙酸 $\text{CH}_3\text{COOH}$
酯	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{O}-(\text{R}) \end{array}$ 酯基	乙酸乙酯 $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$
胺	$-\text{NH}_2$ 氨基	 苯胺
酰胺	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{N}- \\   \\ \text{H} \end{array}$ 酰胺基	乙酰胺 $\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{NH}_2$

### 3. 同系物

分子结构相似，组成上彼此相差一个或若干个  $\text{CH}_2$  的一系列有机化合物为同系列，同系列中的各化合物互称同系物。

## 二、有机物的命名

### 1. 烷烃的命名

#### (1) 烷烃的习惯命名法



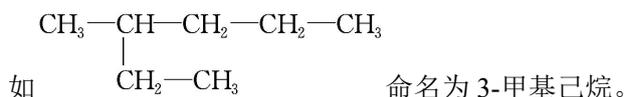
#### (2) 烷烃的系统命名法

##### ① 几种常见烷基的结构简式

甲基： $-\text{CH}_3$ ；乙基： $-\text{CH}_2\text{CH}_3$ ；丙基： $-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ 、 $-\overset{\text{CH}_3}{\underset{|}{\text{CH}}}-\text{CH}_3$ 。

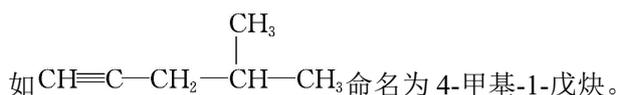
##### ② 命名步骤

- 选主链 → 选最长碳链为主链  
 ↓  
 编序号 → 从距离支链最近的一端开始  
 ↓  
 写名称 → 先简后繁, 相同基合并



## 2. 烯烃和炔烃的命名

- 选主链 → 将含有碳碳双键或碳碳三键的最长碳链作为主链, 称为“某烯”或“某炔”  
 ↓  
 定编号 → 从距离碳碳双键或碳碳三键最近的一端对主链上的碳原子进行编号  
 ↓  
 写名称 → 将支链作为取代基, 写在“某烯”或“某炔”的前面, 并用阿拉伯数字标明碳碳双键或碳碳三键的位置

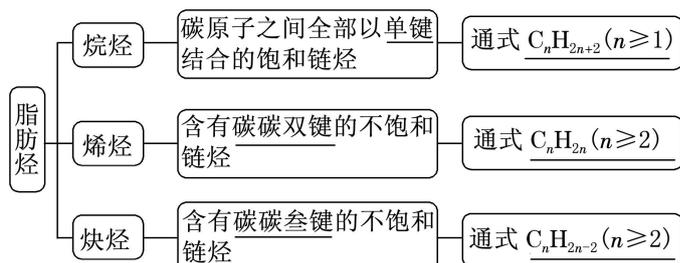


## 三、同分异构体

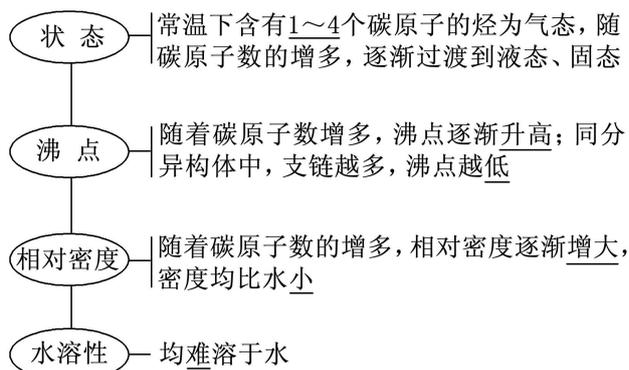
类型		说明
构造异构	碳骨架异构	碳链骨架不同, 如 $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ 和 $\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$
	官能团位置异构	官能团位置不同, 如 $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ 和 $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCH}_3$
	官能团类型异构	官能团种类不同, 如 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ 和 $\text{CH}_3-\text{O}-\text{CH}_3$
立体异构	顺反异构	如顺-2-丁烯 ( $\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \quad \text{CH}_3 \\ \diagdown \quad / \\ \text{C}=\text{C} \\ / \quad \diagdown \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$ ) 和反-2-丁烯 ( $\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \quad \text{H} \\ \diagdown \quad / \\ \text{C}=\text{C} \\ / \quad \diagdown \\ \text{H} \quad \text{CH}_3 \end{array}$ ), 顺-1, 4-聚异戊二烯 ( $\left[ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{H} \\ \diagdown \quad / \\ \text{C}=\text{C} \\ / \quad \diagdown \\ \text{CH}_2 \quad \text{CH}_2 \end{array} \right]_n$ ) 和反-1, 4-聚 异戊二烯 ( $\left[ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{CH}_2 \\ \diagdown \quad / \\ \text{C}=\text{C} \\ / \quad \diagdown \\ \text{CH}_2 \quad \text{H} \end{array} \right]_n$ )
	对映异构	手性分子和它们的镜像分子互为对映异构体。

## 四、脂肪烃

### 1. 烷烃、烯烃、炔烃的组成、结构特点和通式



### 2. 脂肪烃的物理性质

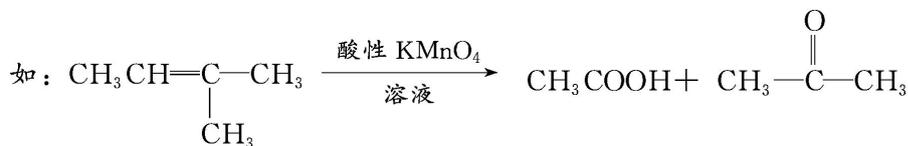


### 3. 脂肪烃的化学性质比较

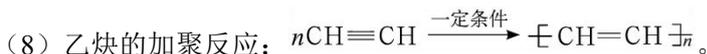
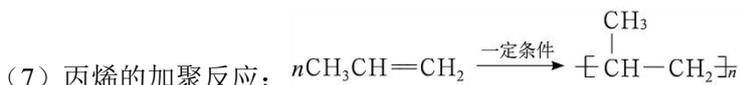
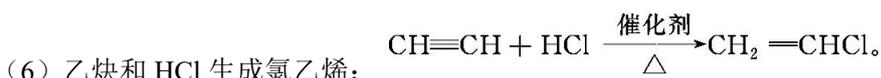
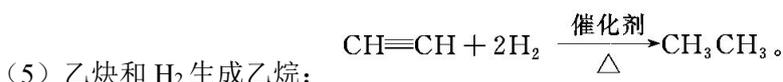
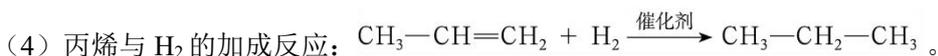
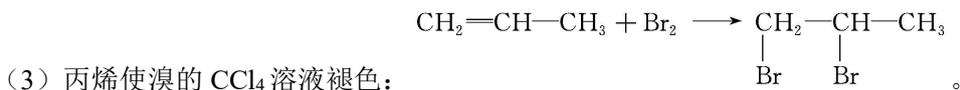
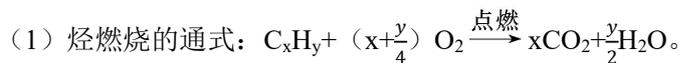
	烷烃	烯烃	炔烃
活动性	较稳定	较活泼	较活泼
取代反应	能够与卤素取代	—	
加成反应	不能发生	能与 $H_2$ 、 $X_2$ 、 $HX$ 、 $H_2O$ 、 $HCN$ 等加成(X 代表卤素原子)	
氧化反应	燃烧产生淡蓝色火焰	燃烧火焰明亮，有黑烟	燃烧火焰明亮，有浓烟
	不与酸性 $KMnO_4$ 溶液反应	能使酸性 $KMnO_4$ 溶液褪色	
加聚反应	不能发生	能发生	
鉴别	不能使溴水、酸性 $KMnO_4$ 溶液褪色	能使溴水、酸性 $KMnO_4$ 溶液褪色	

【注意】烯烃与酸性  $KMnO_4$  溶液反应被氧化的部分与氧化产物的对应关系

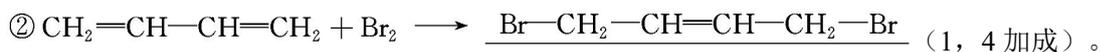
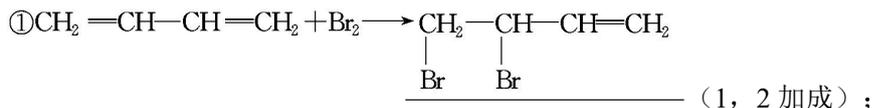
烯烃被氧化的部分	$CH_2=$	$RCH=$	$\begin{matrix} R' \\ \diagdown \\ C= \\ \diagup \\ R'' \end{matrix}$
氧化产物	$\begin{matrix} [H-C-OH] \\    \\ O \\ \downarrow \\ CO_2, H_2O \end{matrix}$	$\begin{matrix} R-C-OH \\    \\ O \end{matrix}$	$\begin{matrix} R' \\ \diagdown \\ C=O \\ \diagup \\ R'' \end{matrix}$ (酮)



#### 4. 经典的有机化学方程式



(9) 1, 3-丁二烯与  $Br_2$  1:1 加成可能的反应:



### 五、芳香烃

#### 1. 苯的同系物的组成、结构与性质

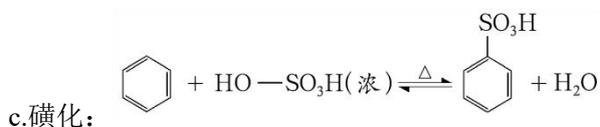
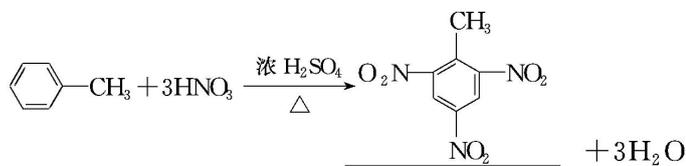
(1) 化学式： $C_nH_{2n-6}(n>6)$ 。

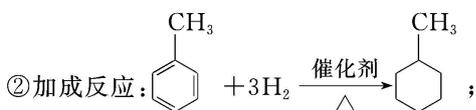
(2) 结构特点：①分子中含有一个苯环；②与苯环相连的是烷基。

(3) 主要化学性质

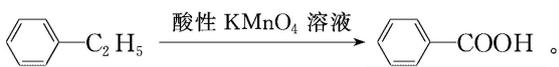
#### ①取代反应

##### a. 卤代





③氧化反应：如果侧链烃基中与苯环直接相连的碳原子上有氢原子，它能使酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液褪色：



## 2. 芳香烃

(1) 芳香烃：分子里含有一个或多个苯环的烃。

(2) 芳香烃在生产、生活中的作用：苯、甲苯、二甲苯、乙苯等芳香烃都是重要的有机化工原料，苯还是一种重要的有机溶剂。

(3) 芳香烃对环境、健康产生影响：油漆、涂料、复合地板等装饰材料会挥发出苯等有毒有机物，秸秆、树叶等物质不完全燃烧形成的烟雾和香烟的烟雾中含有较多的芳香烃，对环境、健康产生不利影响。

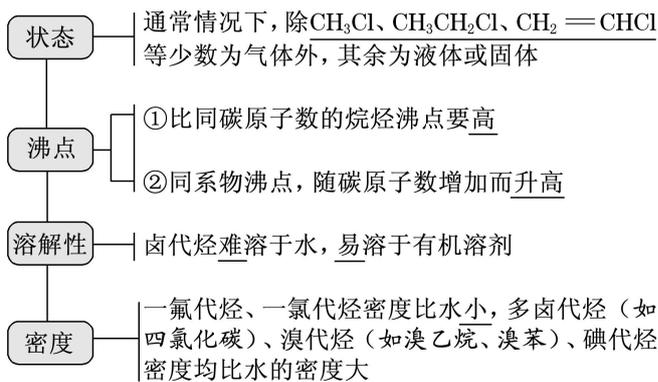
## 六、卤代烃

### 1. 卤代烃的概念

(1) 卤代烃是烃分子里的氢原子被卤素原子取代后生成的化合物。通式可表示为  $\text{R-X}$  (其中  $\text{R-}$  表示烃基)。

(2) 官能团是卤素原子。

### 2. 卤代烃的物理性质

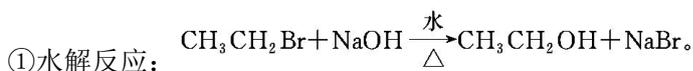


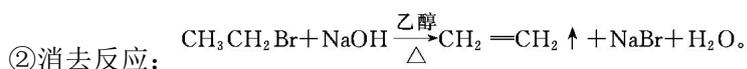
### 3. 卤代烃的化学性质

(1) 卤代烃水解反应和消去反应比较

反应类型	水解反应(取代反应)	消去反应
反应条件	强碱的水溶液、加热	强碱的醇溶液、加热
断键方式	$-\text{C}-\text{X}-\text{H}-\text{OH}$	$\begin{array}{c} \text{—C—C—} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{X} \end{array}$
特征	引入 $-\text{OH}$ ，生成含 $-\text{OH}$ 的化合物	消去 $\text{HX}$ ，生成含碳碳双键或碳碳叁键的不饱和化合物

(2) 反应的化学方程式(以  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br}$  为例)

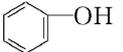




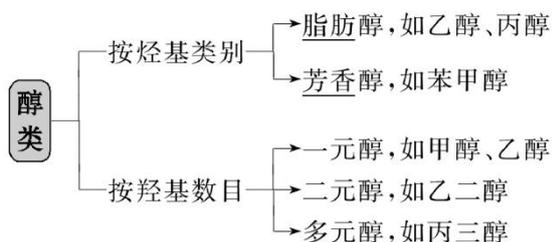
## 七、醇、酚

### 1. 醇、酚的概念

(1) 醇：烃分子中饱和碳原子上一个或几个氢原子被羟基取代的产物称为醇，饱和一元醇的组成通式为  $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}$  或  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}\text{O}$ 。

(2) 酚：芳香烃分子中苯环上的一个或几个氢原子被羟基取代的产物称为酚，最简单的酚为苯酚()。

### (3) 醇的分类

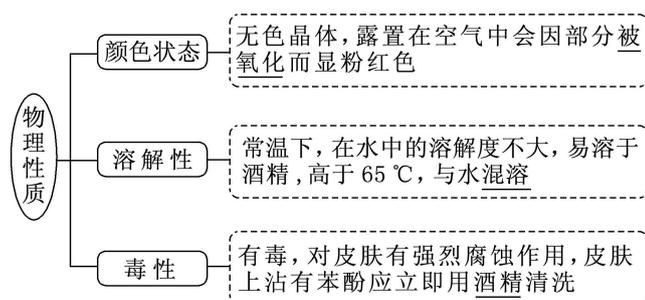


### 2. 醇、酚的物理性质

#### (1) 醇类物理性质变化规律

物理性质	递变规律
密度	一元脂肪醇的密度一般小于 $1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$
沸点	①直链饱和一元醇的沸点随着分子中碳原子数的递增而逐渐升高； ②醇分子间存在氢键，所以相对分子质量相近的醇和烷烃或烯烃相比，醇的沸点远高于烷烃
水溶性	低级脂肪醇易溶于水，饱和一元醇的溶解度随着分子中碳原子数的递增而逐渐减小

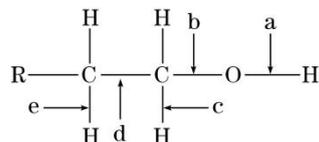
#### (2) 苯酚的物理性质



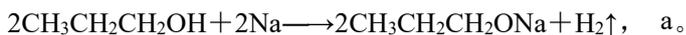
### 3. 醇、酚的化学性质

(1) 由断键方式理解醇的化学性质

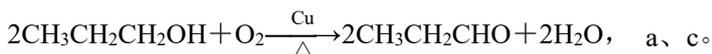
以 1-丙醇为例，反应的化学方程式及断键部位为：



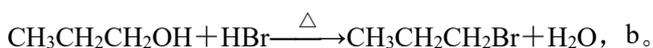
①与 Na 反应



②催化氧化



③与 HBr 的取代



④浓硫酸，加热分子内脱水



⑤浓硫酸，加热分子间脱水



⑥与乙酸的酯化反应



(2) 由基团之间的相互影响理解酚的化学性质

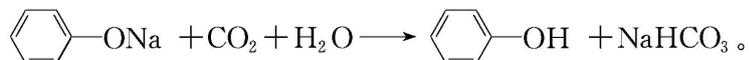
由于苯环对羟基的影响，酚羟基比醇羟基活泼；由于羟基对苯环的影响，苯酚中苯环上的氢比苯中的氢活泼。

①弱酸性

苯酚电离方程式为  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH} \rightleftharpoons \text{C}_6\text{H}_5\text{O}^- + \text{H}^+$ ，俗称石炭酸，但酸性很弱，比碳酸弱，不能使石蕊溶液变红。

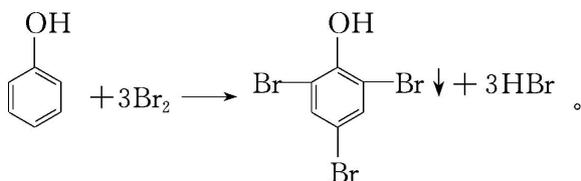
苯酚的浑浊液中  $\xrightarrow{\text{加入 NaOH 溶液}}$  液体变澄清  $\xrightarrow{\text{再通入 CO}_2 \text{ 溶液}}$  溶液又变浑浊。

该过程中发生反应的化学方程式分别为



## ②苯环上氢原子的取代反应

苯酚与饱和溴水反应的化学方程式为



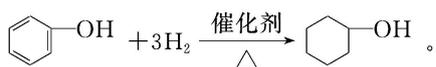
反应产生白色沉淀，此反应常用于苯酚的定性检验和定量测定。

## ③显色反应

苯酚跟  $\text{FeCl}_3$  溶液作用产生紫色溶液，大多数的酚都能与  $\text{FeCl}_3$  溶液反应显色，利用这一反应可以检验酚的存在。

## ④加成反应

与  $\text{H}_2$  反应的化学方程式为

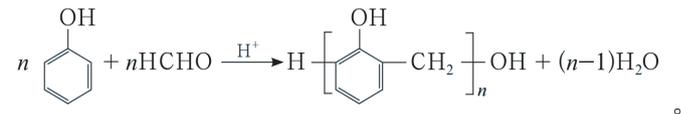


## ⑤氧化反应

苯酚易被空气中的氧气氧化而显粉红色；易被酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液氧化；易燃烧。

## ⑥缩聚反应

苯酚与甲醛发生缩聚反应的化学方程式为：



# 八、醛

## 1. 概念

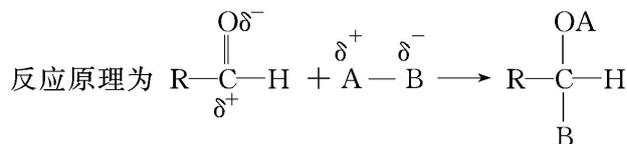
由烃基(或氢原子)与醛基相连而构成的化合物，可表示为  $\text{RCHO}$ 。甲醛是最简单的醛。饱和一元醛的通式为  $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}(n \geq 1)$ 。

## 2. 甲醛、乙醛的物理性质

物质	颜色	气味	状态	密度	水溶性
甲醛	无色	刺激性气味	气体	—	易溶于水
乙醛	无色	刺激性气味	液体	比水小	易溶于水

### 3. 醛的化学性质

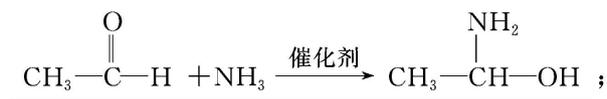
(1) 羰基  $\left[ \begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}- \end{array} \right]$  的加成反应



例如:  $\text{CH}_3\text{CHO}$  与  $\text{HCN}$ 、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{CH}_3\text{OH}$  的加成反应分别为与  $\text{HCN}$ :



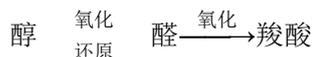
与  $\text{NH}_3$ :



与  $\text{CH}_3\text{OH}$ :

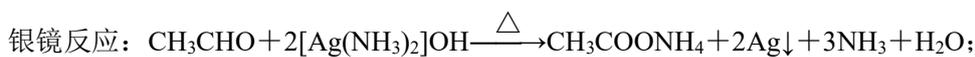


(2) 醛类物质既有氧化性又有还原性, 其氧化、还原关系为:

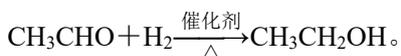


以乙醛为例, 反应的化学方程式

①氧化反应



②还原反应(加氢)



【注意】(1) 醛基只能写成  $-\text{CHO}$  或  $-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H}$ , 不能写成  $-\text{COH}$ 。

(2) 醛与新制的  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  悬浊液反应时碱必须过量且应加热煮沸。

### 4. 醛的应用和对环境、健康产生的影响

(1) 醛是重要的化工原料, 广泛应用于合成纤维、医药、染料等行业。

(2) 35%~40%的甲醛水溶液俗称福尔马林, 具有杀菌(用于种子杀菌)和防腐性能(用于浸制生物标本)。

(3) 劣质的装饰材料中挥发出的甲醛是室内主要污染物之一。

## 九、羧酸

### 1. 羧酸

(1) 羧酸：由烃基或氢原子与羧基相连构成的有机化合物。官能团为—COOH。

饱和一元羧酸分子的通式为  $C_nH_{2n}O_2(n \geq 1)$ 。

(2) 羧酸的化学性质

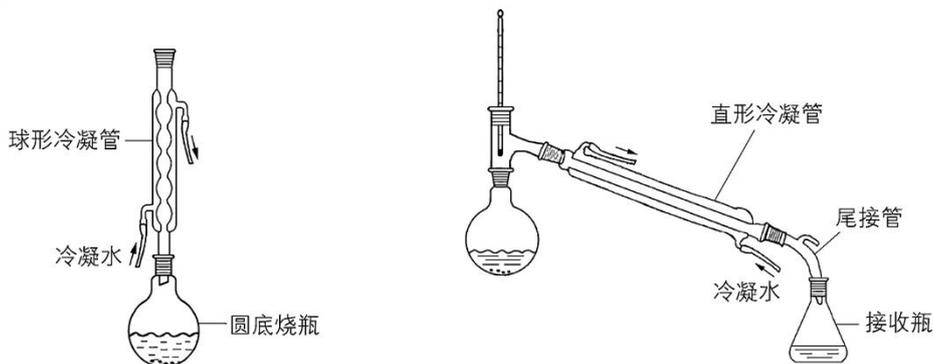
#### ①酸的通性

乙酸是一种弱酸，其酸性比碳酸强，在水溶液中的电离方程式为  $CH_3COOH \rightleftharpoons CH_3COO^- + H^+$ 。

#### ②取代反应

##### a. 羟基的取代反应

$CH_3COOH$  和  $CH_3CH_2^{18}OH$  发生酯化反应的化学方程式为



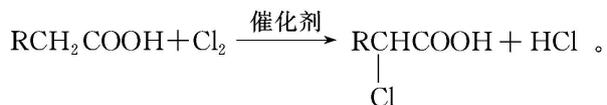
乙酸乙酯的制备与纯化

$CH_3COOH$  与  $NH_3$  发生取代反应的化学方程式为



##### b. $\alpha$ -H 的取代反应

$RCH_2COOH$  与  $Cl_2$  发生取代反应的化学方程式为



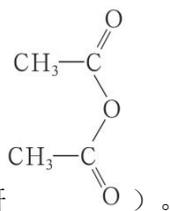
#### ③加氢还原成醇



### 2. 羧酸衍生物

羧酸分子中羧基上的羟基被其它原子或原子团取代得到的产物称为羧酸衍生物。羧酸分子中的羧基去

掉羟基后剩余的基团称为酰基( $R\overset{O}{\parallel}{C}-$  或  $RCO-$ )。常见的羧酸衍生物：酯、酰胺、酰卤(如乙酰氯  $CH_3-\overset{O}{\parallel}{C}-Cl$ )、

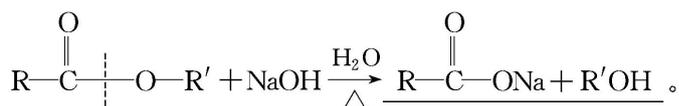
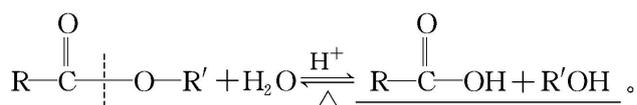


酸酐（如乙酸酐

(1) 酯

①定义：羧酸分子羧基中的—OH 被—OR'取代后的产物。可简写为 RCOOR'，官能团为  $-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{R}'$ 。

②酯的化学性质



【注意】1. 酯的水解反应为取代反应；在酸性条件下为可逆反应；在碱性条件下，能中和产生的羧酸，反应能完全进行。

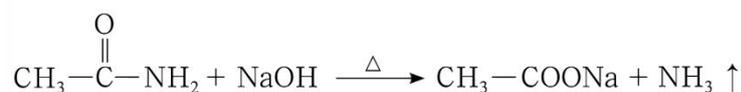
2. 1 mol 酚酯(酚与羧酸形成的酯)基水解可消耗 2 mol NaOH，反应生成 1 mol H<sub>2</sub>O。

(2) 酰胺

①定义：酰胺是分子由酰基(RCO-)和氨基(-NH<sub>2</sub>)相连构成的羧酸衍生物。官能团：酰胺基  $(-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\overset{\text{H}}{\text{N}}-)$

②物理性质：除甲酰胺  $(\text{H}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{NH}_2)$  是液体外，其它酰胺多为无色晶体。低级的酰胺可溶于水。

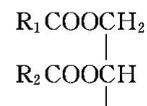
③水解反应



十、油脂、糖类、蛋白质

1. 油脂

(1) 组成和结构

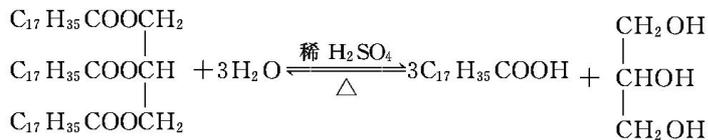


油脂是高级脂肪酸与甘油反应所生成的酯，由 C、H、O 三种元素组成，其结构可表示为  $\text{R}_1 \text{COOCH}_2$ 。

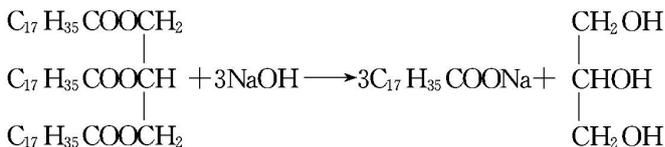
(2) 性质

①油脂的水解(以硬脂酸甘油酯为例)

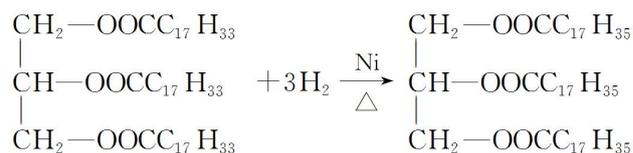
a.酸性条件下



b.碱性条件下——皂化反应



②油脂的氢化



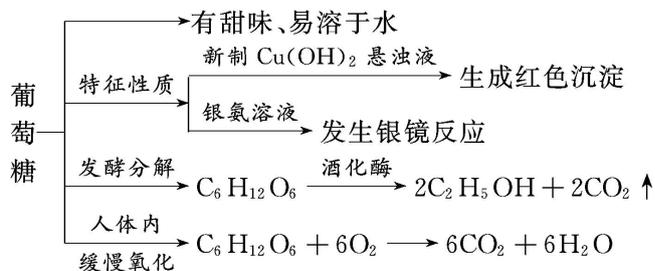
2. 糖类

(1) 分类

	含义	组成元素	代表物的名称、分子式、相互关系
单糖	不能再水解生成其他糖的糖	C、H、O	葡萄糖 $\xleftrightarrow{\text{互为同分异构体}}$ 果糖 ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ )
低聚糖	1 mol 糖水解释生成 2~10 mol 单糖的糖	C、H、O	蔗糖 $\xleftrightarrow{\text{互为同分异构体}}$ 麦芽糖 ( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ) ( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ )
多糖	1 mol 糖水解释生成 $n$ mol ( $n > 10$ ) 单糖的糖	C、H、O	淀粉 $\xleftrightarrow{\text{不是同分异构体}}$ 纤维素 ( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ ) <sub>n</sub> ( $n$ 值不同) ( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ ) <sub>n</sub>

(2) 性质

①葡萄糖:  $\text{CH}_2\text{OH}(\text{CHOH})_4\text{CHO}$



②双糖(二糖)

	蔗糖	麦芽糖
是否含醛基	否	是
水解产物	葡萄糖和果糖	葡萄糖

③多糖: 在稀酸催化下发生水解反应, 水解的最终产物是葡萄糖。

3. 蛋白质和氨基酸

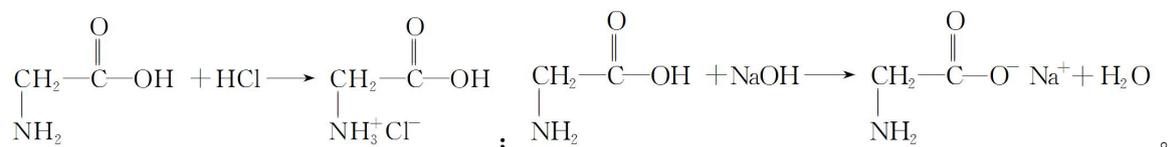
## (1) 氨基酸的结构与性质

羧酸分子中烃基上的氢原子被氨基取代后的产物。蛋白质水解后得到的均为 $\alpha$ -氨基酸，其通式为



### ①两性:

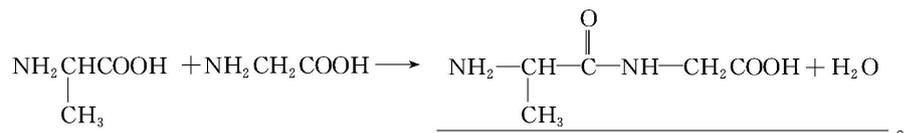
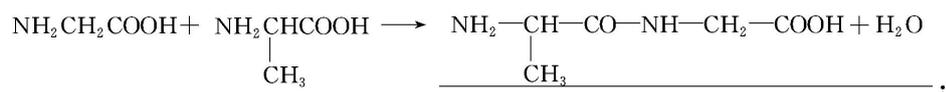
甘氨酸与盐酸、NaOH 溶液反应的化学方程式分别为



### ②成肽反应:

氨基酸可以发生分子间脱水生成二肽或多肽(含有肽键  $-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{NH}-$  )。

例如，甘氨酸和丙氨酸反应生成两种二肽的化学方程式为



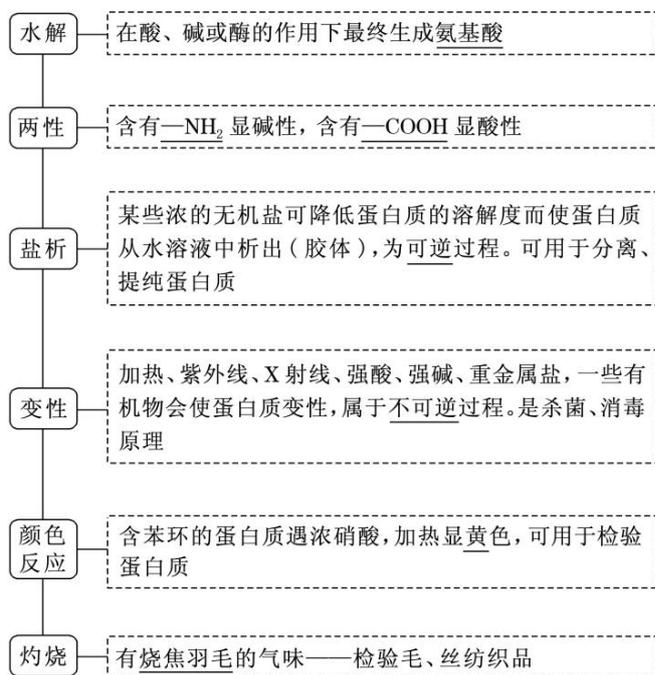
## (2) 蛋白质的结构与性质

### ①蛋白质的组成与结构

蛋白质含有 C、H、O、N 等元素。

蛋白质是由氨基酸通过缩聚反应生成的，蛋白质属于天然有机高分子化合物。

### ②蛋白质的性质



### (3) 酶

①酶是一种蛋白质, 易变性。

②酶是一种生物催化剂, 酶催化作用有以下特点:

- 条件温和, 不需加热。
- 具有高度的专一性。
- 具有高效催化作用。

## 十一、有机物分子式、结构式的确定方法

### 1. 不饱和度

$$\text{C}_x\text{H}_y \text{ 的不饱和度} = x + 1 - \frac{y}{2}$$

$$\text{C}_x\text{H}_y\text{Cl}_z\text{N}_m\text{O}_n \text{ 的不饱和度} = x + 1 - \frac{y+z-m}{2}$$

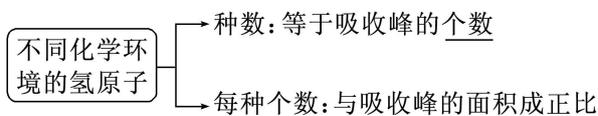
### 2. 质谱

质荷比(分子离子、碎片离子的相对质量与其电荷的比值)最大值即为该有机物的相对分子质量。

### 3. 红外光谱

分子中化学键或官能团对红外线发生振动吸收, 不同化学键或官能团吸收频率不同, 在红外光谱图上将处于不同的位置, 从而获得分子中含有何种化学键或官能团的信息。

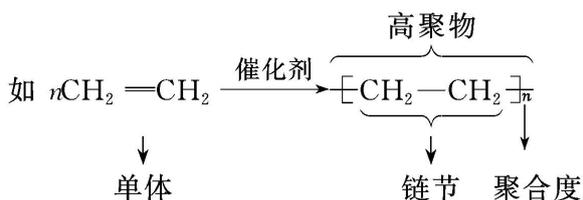
### 4. 核磁共振氢谱



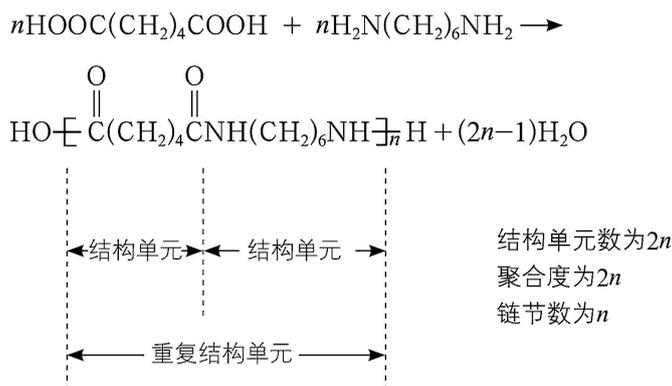
## 十二、合成有机高分子

### 1. 有机高分子的组成

- (1) 高分子化合物简称高分子，双称大分子化合物（简称大分子），也称高聚物、聚合物。
- (2) 单体：能用来合成高分子化合物的小分子化合物称为单体。
- (3) 链节：高分子化合物中化学组成和结构均可以重复的最小单位称为重复结构单元，又称链节。
- (4) 链节数：重复结构单元数  $n$  又称链节数。
- (5) 聚合度：形成高分子化合物时反应掉的单体数称为聚合度。



【注意】由一种单体聚合后形成的高分子化合物中，结构单元数 = 聚合度 = 链节数；由两种或两种以上的单体聚合后形成的高分子化合物中，结构单元数 = 聚合度  $\neq$  链节数。



### 2. 合成高分子化合物的两个基本反应

#### (1) 加成聚合反应（加聚反应）

单体通过加成的方式生成高分子化合物的反应，如氯乙烯合成聚氯乙烯的反应，其化学方程式为



#### (2) 缩合聚合反应（缩聚反应）

单体通过分子间的相互缩合生成高分子化合物的反应。缩聚反应过程中，伴随有小分子化合物(如  $\text{H}_2\text{O}$ )产生，如己二酸与乙二醇发生缩聚反应，其化学方程式为



## 附录

### 1. 部分酸、碱和盐的溶解性表（室温）

阴离子 阳离子	$\text{OH}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{CO}_3^{2-}$	$\text{SO}_3^{2-}$	$\text{S}^{2-}$	$\text{SiO}_3^{2-}$	$\text{PO}_4^{3-}$
$\text{H}^+$		溶、挥	溶、挥	溶	溶、挥	溶、挥	溶、挥	不	溶
$\text{NH}_4^+$	溶、挥	溶	溶	溶	溶	溶	溶	—	溶
$\text{K}^+$	溶	溶	溶	溶	溶	溶	溶	溶	溶
$\text{Na}^+$	溶	溶	溶	溶	溶	溶	溶	溶	溶
$\text{Ba}^{2+}$	溶	溶	溶	不	不	微	—	不	不
$\text{Ca}^{2+}$	微	溶	溶	微	不	不	微	不	不
$\text{Mg}^{2+}$	不	溶	溶	溶	微	微	—	不	不
$\text{Al}^{3+}$	不	溶	溶	溶	—	—	—	不	不
$\text{Mn}^{2+}$	不	溶	溶	溶	不	不	不	不	不
$\text{Zn}^{2+}$	不	溶	溶	溶	不	不	不	不	不
$\text{Fe}^{2+}$	不	溶	溶	溶	不	不	不	不	不
$\text{Fe}^{3+}$	不	溶	溶	溶	—	—	—	不	不
$\text{Cu}^{2+}$	不	溶	溶	溶	—	—	不	不	不
$\text{Ag}^+$	—	溶	不	微	不	不	不	不	不
$\text{Pb}^{2+}$	不	溶	微	不	不	不	不	不	不

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

2. 规律总结：

①酸：多数可溶，仅  $\text{H}_2\text{SiO}_3$  难溶。

②碱：多数不溶，仅  $\text{KOH}$ 、 $\text{NaOH}$ 、 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 、 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  可溶， $\text{Ca}(\text{OH})_2$  微溶。

③钾盐、钠盐、铵盐、硝酸盐：均可溶。

④硫酸盐：多数可溶，仅  $\text{BaSO}_4$ 、 $\text{PbSO}_4$  难溶， $\text{CaSO}_4$ 、 $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  微溶。

⑤氯化物：多数可溶，仅  $\text{AgCl}$  难溶。

⑥碳酸盐、亚硫酸盐、硫化物、磷酸盐：多数不溶，仅钾、钠、铵盐可溶。

⑦碳酸氢盐、亚硫酸氢盐、醋酸盐：多数可溶。

## 2. 无机物的基本性质

物质	俗名	颜色	其它
CaO	生石灰		
Ca(OH) <sub>2</sub>	熟石灰、消石灰、石灰乳		
CaCO <sub>3</sub>	石灰石、大理石		
NaOH	火碱、烧碱、苛性钠		
Na		银白色	硬度小，熔点低，密度小
Na <sub>2</sub> O <sub>2</sub>		淡黄色	
Fe		银白色	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	铁红	红棕色	
FeO		黑色	
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	磁性氧化铁	黑色	
Fe(OH) <sub>2</sub>		白色	
Fe(OH) <sub>3</sub>		红褐色	
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	纯碱、苏打	白色	
NaHCO <sub>3</sub>	小苏打	白色	用作发酵剂、灭火器，治胃酸过多
S	硫磺	淡黄色	不溶于水，微溶于酒精，易溶于CS <sub>2</sub>
I <sub>2</sub>		紫黑色	易升华，气态为紫红色； 在水中的溶解度不大，碘水一般为黄色； 易溶于有机溶剂，一般为紫色。
Si		灰黑色	硬而脆
SiO <sub>2</sub>	硅石、石英、水晶、沙子		熔点高，硬度大，不溶于水
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	水玻璃		是一种矿物胶，具有粘合性
Al(OH) <sub>3</sub>		白色	
Cu		紫红色	
CuO		黑色	
Cu <sub>2</sub> O		红色	
CuSO <sub>4</sub>		白色	
CuSO <sub>4</sub> •5H <sub>2</sub> O	胆矾、蓝矾	蓝色	
Cu <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	铜绿	绿色	
KAl(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> •12H <sub>2</sub> O	明矾		
AgBr		淡黄色	
AgI		黄色	

固体

物质		俗名	颜色	其它
液体	HNO <sub>3</sub>		无色	易挥发、有刺激性气味
	Br <sub>2</sub>		深红棕色	易挥发； 在水中的溶解度不大，溴水一般为黄色； 易溶于有机溶剂，一般为橙色。
气体	Cl <sub>2</sub>		黄绿色	有刺激性气味，有毒，能溶于水（1：2）， 氯水为浅黄绿色。
	HCl		无色	有刺激性气味，极易溶于水（1：500）
	NO		无色	有毒（结合血红蛋白），难溶于水
	NO <sub>2</sub>		红棕色	有刺激性气味，有毒，易溶于水
	NH <sub>3</sub>		无色	有刺激性气味，极易溶于水（1：700）
	SO <sub>2</sub>		无色	有刺激性气味，有毒，易溶于水（1：40）
	H <sub>2</sub> S		无色	臭鸡蛋气味，有剧毒，能溶于水（1：2.6）
溶液	Cu <sup>2+</sup>		蓝色	
	MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup>		紫色	
	Fe <sup>2+</sup>		浅绿色	
	Fe <sup>3+</sup>		黄色	
	Fe(SCN) <sub>3</sub>		血红色	

### 3. 无机方程式

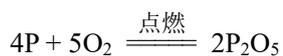
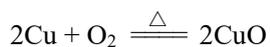
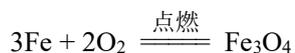
Na	$4\text{Na} + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{Na}_2\text{O}$ $2\text{Na} + \text{O}_2 \xrightleftharpoons{\Delta} \text{Na}_2\text{O}_2$	钠在空气中放置，表面迅速变暗 钠燃烧，产生黄色火焰，生成淡黄色固体
	$2\text{Na} + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{NaOH} + \text{H}_2\uparrow$	浮（密度小于水）、熔（放热、熔点低）、游、响（产生气体）、红（产物显碱性）。
	$2\text{Na}_2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 4\text{NaOH} + \text{O}_2\uparrow$ $2\text{Na}_2\text{O}_2 + 2\text{CO}_2 \rightleftharpoons 2\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{O}_2$	$\text{Na}_2\text{O}_2$ 常用作供氧剂
	$2\text{NaHCO}_3 \xrightleftharpoons{\Delta} \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow$ $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \xrightleftharpoons{\Delta} \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$ $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 \xrightleftharpoons{\Delta} \text{MgCO}_3 + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$	
	$\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons 2\text{NaHCO}_3$ $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ $\text{MgCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$	
Fe	$3\text{Fe} + 4\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \xrightleftharpoons{\text{高温}} \text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{H}_2$	
	$4\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 4\text{Fe}(\text{OH})_3$	白色沉淀迅速变成灰绿色，最后变成红褐色
	$\text{Fe}^{3+} + 3\text{SCN}^- \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{SCN})_3$	可用 KSCN 溶液检验 $\text{Fe}^{3+}$ 的存在
	$\text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{H}_2\text{SO}_4(\text{稀}) \rightleftharpoons \text{FeSO}_4 + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 4\text{H}_2\text{O}$	$\text{Fe}_3\text{O}_4$ 可看作 $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ （纯净物）
	$\text{FeCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \xrightleftharpoons{\Delta} \text{Fe}(\text{OH})_3(\text{胶体}) + 3\text{HCl}$	$\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体的制备： $\text{FeCl}_3$ 溶液滴入沸水中
	$2\text{Fe}^{3+} + \text{Cu} \rightleftharpoons 2\text{Fe}^{2+} + \text{Cu}^{2+}$	$\text{FeCl}_3$ 溶液用于腐蚀铜电路板
Mg	$3\text{Mg} + \text{N}_2 \xrightleftharpoons{\text{点燃}} \text{Mg}_3\text{N}_2$	
	$2\text{Mg} + \text{CO}_2 \xrightleftharpoons{\text{点燃}} 2\text{MgO} + \text{C}$	出现白烟和黑色颗粒
Al	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{Al} \xrightleftharpoons{\text{高温}} \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{Fe}$	铝热反应，常用于焊接钢轨。 铝热剂： $\text{Al}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$
	$2\text{Al} + 2\text{NaOH} + 6\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4] + 3\text{H}_2\uparrow$ $\text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{NaOH} + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ $\text{Al}(\text{OH})_3 + \text{NaOH} \rightleftharpoons \text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$	$\text{Al}_2\text{O}_3$ 属于两性氧化物 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 属于两性氢氧化物
	$\text{AlCl}_3 + 3\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_3\downarrow + 3\text{NH}_4\text{Cl}$ $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4] + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_3\downarrow + \text{NaHCO}_3$	用弱酸/弱碱制取 $\text{Al}(\text{OH})_3$ ，过量也不溶解
Cu	$2\text{Cu} + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$	铜生锈（铜绿）
	$4\text{CuO} \xrightleftharpoons{\text{高温}} 2\text{Cu}_2\text{O} + \text{O}_2\uparrow$	黑色固体变红

C	$\text{CO}_2 + \text{C} \xrightleftharpoons{\text{高温}} 2\text{CO}$	
	$\text{C} + \text{H}_2\text{O} \xrightleftharpoons{\text{高温}} \text{CO} + \text{H}_2$	制水煤气 (CO、H <sub>2</sub> )
Si	$\text{Si} + \text{O}_2 \xrightarrow{\Delta} \text{SiO}_2$	
	$\text{SiO}_2 + 2\text{C} \xrightleftharpoons{\text{高温}} \text{Si} + 2\text{CO}\uparrow$	工业制硅
	$\text{SiO}_2 + 2\text{NaOH} \rightleftharpoons \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	SiO <sub>2</sub> 属于酸性氧化物
	$\text{SiO}_2 + \text{CaO} \xrightleftharpoons{\text{高温}} \text{CaSiO}_3$	
	$\text{SiO}_2 + 4\text{HF} \rightleftharpoons \text{SiF}_4\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$	此反应常被用来刻蚀玻璃
	$\text{SiO}_2 + \text{CaCO}_3 \xrightleftharpoons{\text{高温}} \text{CaSiO}_3 + \text{CO}_2\uparrow$	工业制玻璃
$\text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \xrightleftharpoons{\text{高温}} \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{CO}_2\uparrow$		
Cl	$2\text{Fe} + 3\text{Cl}_2 \xrightarrow{\text{点燃}} 2\text{FeCl}_3$	棕色的烟
	$\text{Cu} + \text{Cl}_2 \xrightarrow{\text{点燃}} \text{CuCl}_2$	棕黄色的烟
	$\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \xrightarrow{\text{点燃}} 2\text{HCl}$	苍白色火焰, 产生白雾
	$\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCl} + \text{HClO}$	氯水的成分: Cl <sub>2</sub> 、H <sub>2</sub> O、HClO、H <sup>+</sup> 、Cl <sup>-</sup> 、ClO <sup>-</sup> 、OH <sup>-</sup>
	$2\text{HClO} \xrightarrow{\text{光照}} 2\text{HCl} + \text{O}_2\uparrow$	氯水久置变为稀盐酸, 酸性增强
	$\text{Cl}_2 + 2\text{NaOH} \rightleftharpoons \text{NaCl} + \text{NaClO} + \text{H}_2\text{O}$	84 消毒液: NaClO (有效成分) + NaCl
	$2\text{Cl}_2 + 2\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightleftharpoons \text{Ca}(\text{ClO})_2 + \text{CaCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	漂白粉: Ca(ClO) <sub>2</sub> (有效成分) + CaCl <sub>2</sub>
	$\text{Ca}(\text{ClO})_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CaCO}_3\downarrow + 2\text{HClO}$	漂白粉起作用或失效过程中发生的反应
	$\text{MnO}_2 + 4\text{HCl}(\text{浓}) \xrightarrow{\Delta} \text{MnCl}_2 + \text{Cl}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$	实验室制氯气

S	$\text{Fe} + \text{S} \xrightarrow{\Delta} \overset{+2}{\text{FeS}}$	氧化性: $\text{Cl}_2 > \text{S}$
	$2\text{Cu} + \text{S} \xrightarrow{\Delta} \overset{+1}{\text{Cu}_2\text{S}}$	
	$\text{S} + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{点燃}} \text{SO}_2$	
	$2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \xrightleftharpoons[\Delta]{\text{催化剂}} 2\text{SO}_3$	用于工业制硫酸
	$\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{S} \rightleftharpoons 3\text{S}\downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$	
	$\text{Cu} + 2\text{H}_2\text{SO}_4(\text{浓}) \xrightarrow{\Delta} \text{CuSO}_4 + \text{SO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$	在常温下, 浓硫酸使铁、铝钝化
	$\text{C} + 2\text{H}_2\text{SO}_4(\text{浓}) \xrightarrow{\Delta} \text{CO}_2\uparrow + 2\text{SO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$	
N	$\text{N}_2 + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{放电}} 2\text{NO}$	自然固氮
	$2\text{NO} + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{NO}_2$	
	$3\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{HNO}_3 + \text{NO}$	
	$\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \xrightleftharpoons[\text{催化剂}]{\text{高温、高压}} 2\text{NH}_3$	工业合成氨, 人工固氮
	$\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	氨水的成分:
	$\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$	$\text{NH}_3$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{OH}^-$ 、 $\text{H}^+$
	$\text{NH}_3 + \text{HCl} \rightleftharpoons \text{NH}_4\text{Cl}$	浓氨水和浓盐酸靠近, 产生白烟
	$4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 \xrightleftharpoons[\Delta]{\text{催化剂}} 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$	氨的催化氧化, 用于工业制硝酸
	$\text{NH}_4\text{HCO}_3 \xrightarrow{\Delta} \text{NH}_3\uparrow + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow$	
	$\text{NH}_4\text{Cl} \xrightarrow{\Delta} \text{NH}_3\uparrow + \text{HCl}\uparrow$	固体逐渐消失, 试管口得到白色固体
	$2\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Ca}(\text{OH})_2 \xrightarrow{\Delta} \text{CaCl}_2 + 2\text{NH}_3\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$	实验室制氨气
	$4\text{HNO}_3 \xrightarrow{\text{光或热}} 4\text{NO}_2\uparrow + \text{O}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$	浓硝酸久置显黄色
	$\text{Cu} + 4\text{HNO}_3(\text{浓}) \rightleftharpoons \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$	在常温下, 浓硝酸使铁、铝钝化
$3\text{Cu} + 8\text{HNO}_3(\text{稀}) \rightleftharpoons 3\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}\uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$		
$\text{C} + 4\text{HNO}_3(\text{浓}) \xrightarrow{\Delta} \text{CO}_2\uparrow + 4\text{NO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$		

#### 4. 常见反应归类

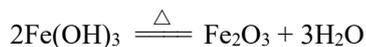
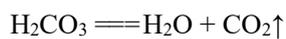
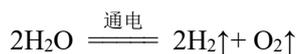
##### 一、初中燃烧反应



##### 二、初中还原反应

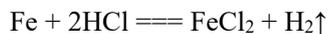


##### 三、初中分解反应

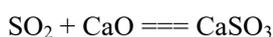
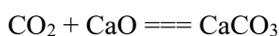
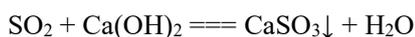
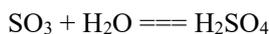
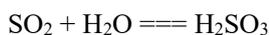
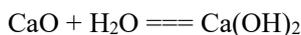


##### 四、初中置换反应

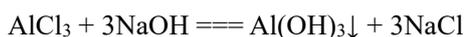
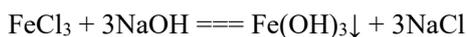
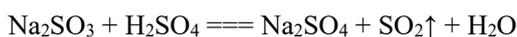
金属活动性顺序：K Ca Na Mg Al Zn Fe Sn Pb (H) Cu Hg Ag Pt Au



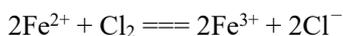
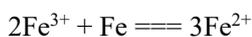
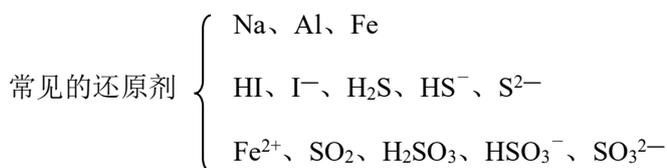
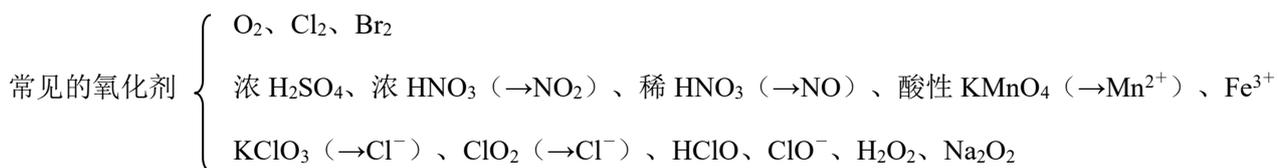
## 五、酸碱反应



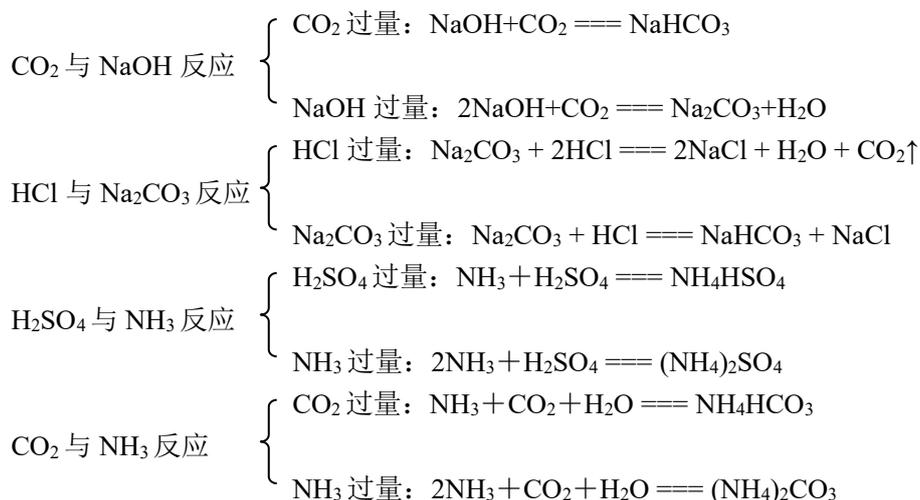
## 六、复分解反应



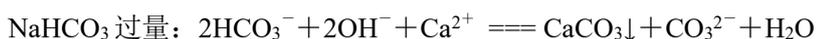
## 七、氧化还原反应



## 八、与量有关的反应



Ca(OH)<sub>2</sub> 与 NaHCO<sub>3</sub> 反应 (将不足的物质系数定为 1) :



## 九、假设法判断反应的先后顺序

NH<sub>4</sub>Fe(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 与 NaOH 反应: 若先与 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 反应, NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O 也可与 Fe<sup>3+</sup> 反应, 故先与 Fe<sup>3+</sup> 反应。

FeBr<sub>2</sub> 溶液中通入 Cl<sub>2</sub>: 若先与 Br<sup>-</sup> 反应, Br<sub>2</sub> 也可与 Fe<sup>2+</sup> 反应, 故先与 Fe<sup>2+</sup> 反应。也可根据还原性判断。

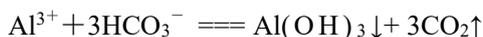
## 十、水解互促反应

Al<sup>3+</sup> 与 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>、S<sup>2-</sup>、HS<sup>-</sup>、[Al(OH)<sub>4</sub>]<sup>-</sup>、ClO<sup>-</sup>、SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup>

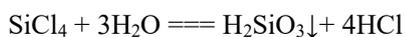
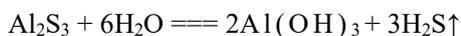
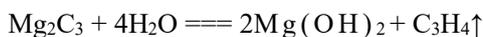
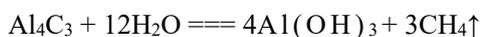
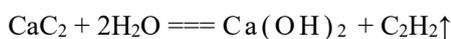
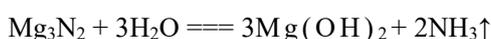
Fe<sup>3+</sup> 与 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>、[Al(OH)<sub>4</sub>]<sup>-</sup>、ClO<sup>-</sup>、SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup>

Fe<sup>2+</sup> 与 [Al(OH)<sub>4</sub>]<sup>-</sup>

NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 与 [Al(OH)<sub>4</sub>]<sup>-</sup>、ClO<sup>-</sup>、SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup>



## 十一、特殊的水解反应



## 5. 无机物知识总结

### 一、漂白性比较

1.  $\text{Na}_2\text{O}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}_2$ 、 $\text{HClO}$  ( $\text{Cl}_2$ 、 $\text{NaClO}$ 、 $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ )、 $\text{O}_3$ ：具有强氧化性，能使指示剂褪色。
2.  $\text{SO}_2$ ：与有色物质结合成不稳定的无色物质，不能使指示剂褪色。
3. 活性炭：物理吸附。

### 二、药品变质

1. 钠在空气中放置： $\text{Na} \rightarrow \text{Na}_2\text{O}$  (变暗)  $\rightarrow \text{NaOH} \rightarrow \text{NaOH}$  溶液 (小液滴)  $\rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3$ 。
2.  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  溶液：在空气中蒸干或存放变为  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 。
3.  $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{Na}_2\text{S}$  溶液：在空气中放置有 S 析出。

### 三、药品保存

1. 氯水、 $\text{HNO}_3$ 、 $\text{AgNO}_3$ 、 $\text{AgBr}$ 、 $\text{AgI}$ ：光照分解，保存在棕色瓶中。
2.  $\text{HNO}_3$ 、 $\text{Br}_2$ 、 $\text{KMnO}_4$ ：腐蚀橡胶，保存时不能用橡胶塞。
3. 液溴：加水封盖。
4.  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ 、 $\text{NaOH}$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ：试剂瓶不用磨口玻璃塞 (可用玻璃瓶)。
5.  $\text{HF}$ ：溶液保存在塑料瓶中，不能用玻璃瓶。
6.  $\text{FeCl}_2$  溶液：①加入铁粉防止  $\text{Fe}^{2+}$  被氧化；②加入盐酸防止  $\text{Fe}^{2+}$  水解。

### 四、物质的检验

1.  $\text{Fe}^{3+}$ ：加入  $\text{KSCN}$  溶液，若变为 (血) 红色，证明原溶液存在  $\text{Fe}^{3+}$ 。
2.  $\text{Fe}^{2+}$ ：加放  $\text{KSCN}$  溶液，溶液不变红，再滴加氯水，溶液变红，证明原溶液中存在  $\text{Fe}^{2+}$ 。
3.  $\text{Fe}^{2+}$  (含  $\text{Fe}^{3+}$ )：加入  $\text{KMnO}_4$  溶液，若褪色，则原溶液存在  $\text{Fe}^{2+}$ 。
4.  $\text{NH}_4^+$ ：加入  $\text{NaOH}$  溶液，加热，将湿润的红色石蕊试纸放在管口，若试纸变蓝，则原溶液含  $\text{NH}_4^+$ 。
5.  $\text{SO}_2$ ：通入品红溶液褪色，加热后恢复红色，证明气体是  $\text{SO}_2$ 。
6.  $\text{CO}_2$  和  $\text{SO}_2$  混合气体

方法：将混合气体依次通过装有品红溶液、酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液、品红溶液、澄清的石灰水的洗气瓶。

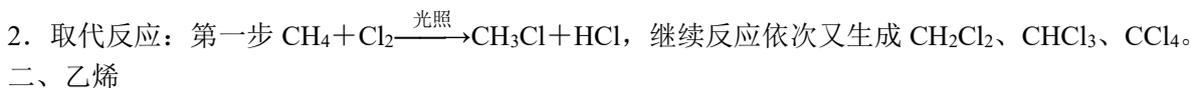
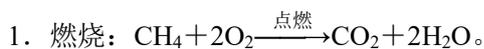
证明  $\text{SO}_2$  存在的现象：第一瓶品红溶液褪色。

证明  $\text{CO}_2$  存在的现象：第二瓶品红溶液不褪色，澄清的石灰水变浑浊。

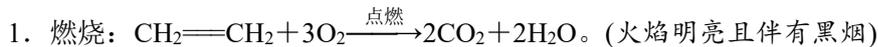
7.  $\text{SO}_4^{2-}$ ：先加入  $\text{HCl}$  溶液，再加入  $\text{BaCl}_2$  溶液，若得到白色沉淀，则原溶液中含有  $\text{SO}_4^{2-}$ 。
8. 卤素离子：先加硝酸酸化，再加入  $\text{AgNO}_3$  溶液，若产生白色 (淡黄色/黄色) 沉淀，则原溶液中存在  $\text{Cl}^-$  ( $\text{Br}^-/\text{I}^-$ )。

## 6. 有机化合物的化学性质

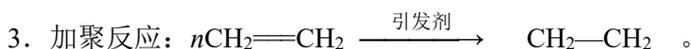
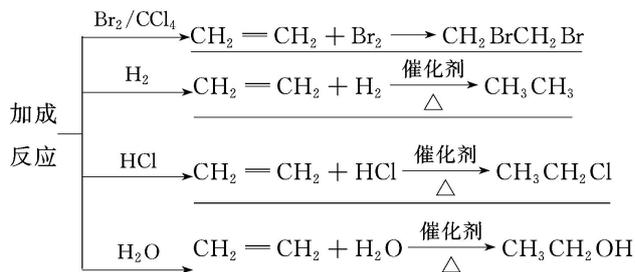
### 一、甲烷



### 二、乙烯



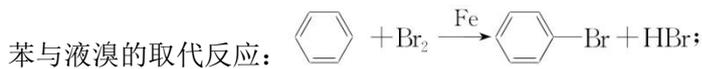
### 2. 加成反应



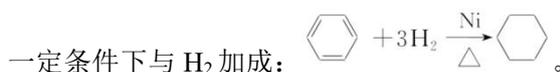
### 三、苯



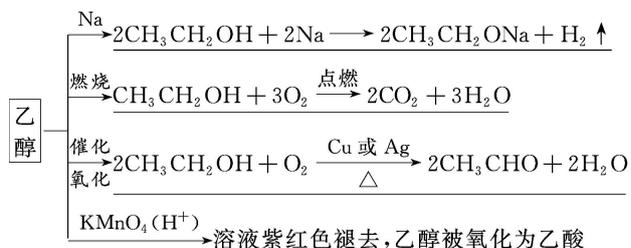
### 2. 取代反应



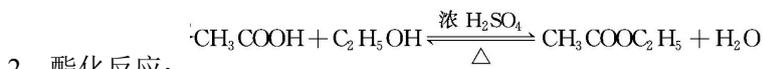
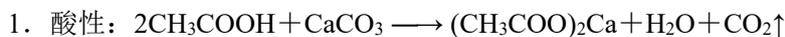
### 3. 加成反应



### 四、乙醇



### 五、乙酸



### 六、乙酸乙酯



## 7. 有机物的性质比较 (选修)

表 1

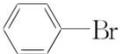
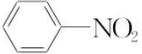
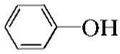
名称	结构简式	俗名	状态	密度	水溶性
苯			液	小于水	不溶
一氯甲烷	CH <sub>3</sub> Cl		气		不溶
二氯甲烷	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>		液	大于水	不溶
三氯甲烷	CHCl <sub>3</sub>	氯仿	液	大于水	不溶
四氯甲烷	CCl <sub>4</sub>		液	大于水	不溶
溴乙烷	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> Br		液	大于水	不溶
溴苯			液	大于水	不溶
硝基苯			液	大于水	不溶
乙醇	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH		液	小于水	溶
乙二醇	HOCH <sub>2</sub> —CH <sub>2</sub> OH		液		溶
丙三醇	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OH} \\   \\ \text{CHOH} \\   \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$	甘油	液		溶
苯酚			固	大于水	不溶于冷水 溶于热水
乙醛	CH <sub>3</sub> CHO		液		溶
甲醛	HCHO		气		溶
乙酸	CH <sub>3</sub> COOH		液		溶
乙二酸	HOOC—COOH		液		溶
乙酸乙酯	CH <sub>3</sub> COOCH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>		液	小于水	不溶

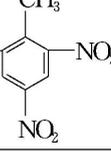
表 2

	与 H <sub>2</sub> 反应	与溴水反应	与酸性 KMnO <sub>4</sub> 溶液反应
甲烷	×	×	×
乙烯、乙炔	√	√ (加成)	√
苯	√	× (可萃取)	×
甲苯、乙苯	√	× (可萃取)	√ (生成苯甲酸)
乙醇	×	×	√ (氧化成乙酸)
苯酚	√	√ (白色沉淀)	√
乙醛	√	√ (氧化)	√
丙酮	√	×	×
乙酸	×	×	×
乙酸乙酯	×	×	×
乙酰胺	×	×	×

表 3

反应物	石蕊	Na	NaOH	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	NaHCO <sub>3</sub>
反应要求		含—OH	显酸性	酸性大于 HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	酸性大于 H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
乙醇	×	√	×	×	×
水	×	√	×	×	×
苯酚	×	√	√	√ (无 CO <sub>2</sub> )	×
乙酸	√	√	√	√	√

## 8. 有机方程式 (选修)

	化学方程式	说明
烷烃	$\text{CH}_4 + \text{Cl}_2 \xrightarrow{\text{光}} \text{CH}_3\text{Cl} + \text{HCl}$ $\text{CH}_3\text{Cl} + \text{Cl}_2 \xrightarrow{\text{光}} \text{CH}_2\text{Cl}_2 + \text{HCl}$ $\text{CH}_2\text{Cl}_2 + \text{Cl}_2 \xrightarrow{\text{光}} \text{CHCl}_3 + \text{HCl}$ $\text{CHCl}_3 + \text{Cl}_2 \xrightarrow{\text{光}} \text{CCl}_4 + \text{HCl}$	取代反应
烯烃	$\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{Br}_2 \longrightarrow \text{CH}_2\text{Br}-\text{CH}_2\text{Br}$	加成反应, 乙烯可使溴水或溴的四氯化碳溶液褪色
	$\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow[\text{催化剂}]{\text{高温、高压}} \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{OH}$	加成反应, 可用于工业制酒精
	$n\text{CH}_2=\text{CH}_2 \xrightarrow{\text{引发剂}} \left[ \text{CH}_2-\text{CH}_2 \right]_n$ $n\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3 \xrightarrow{\text{催化剂}} \left[ \text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}} \right]_n$	加聚反应
芳香烃	 + Br-Br $\xrightarrow{\text{Fe}}$  + HBr	取代反应, 苯与液溴在 Fe (FeBr <sub>3</sub> ) 催化下反应
	 + HO-NO <sub>2</sub> $\xrightarrow[\Delta]{\text{浓 H}_2\text{SO}_4}$  + H <sub>2</sub> O	硝化反应/取代反应
	 + 3HNO <sub>3</sub> $\xrightarrow[\Delta]{\text{浓 H}_2\text{SO}_4}$  + 3H <sub>2</sub> O	
	 + 3H <sub>2</sub> $\xrightarrow[\Delta]{\text{催化剂}}$ 	加成反应
卤代烃	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br} + \text{NaOH} \xrightarrow[\Delta]{\text{水}} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + \text{NaBr}$	水解反应/取代反应
	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br} + \text{NaOH} \xrightarrow[\Delta]{\text{乙醇}} \text{CH}_2=\text{CH}_2 \uparrow + \text{NaBr} + \text{H}_2\text{O}$	消去反应
醇	$2\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + 2\text{Na} \longrightarrow 2\text{CH}_3\text{CH}_2\text{ONa} + \text{H}_2 \uparrow$	
	$2\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + \text{O}_2 \xrightarrow[\Delta]{\text{Cu 或 Ag}} 2\text{CH}_3\text{CHO} + 2\text{H}_2\text{O}$	氧化反应
	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + \text{HBr} \xrightarrow{\Delta} \text{C}_2\text{H}_5\text{Br} + \text{H}_2\text{O}$	取代反应
	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} \xrightarrow[170^\circ\text{C}]{\text{浓硫酸}} \text{CH}_2=\text{CH}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$	消去反应, 分子内脱水
	$2\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} \xrightarrow[140^\circ\text{C}]{\text{浓硫酸}} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_3 + \text{H}_2\text{O}$	取代反应, 分子间脱水
	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + \text{CH}_3\text{COOH} \xrightarrow{\Delta} \text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3 +$	酯化反应/取代反应, 酸脱羟基醇脱氢

	$\text{H}_2\text{O}$	
酚	$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH} + \text{NaOH} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{ONa} + \text{H}_2\text{O}$ $\text{C}_6\text{H}_5\text{ONa} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{OH} + \text{NaHCO}_3$	酸性: $\text{H}_2\text{CO}_3 > \text{C}_6\text{H}_5\text{OH} > \text{HCO}_3^-$
	$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH} + 3\text{Br}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_2\text{Br}_3\text{OH} \downarrow + 3\text{HBr}$	取代反应, 苯酚与浓溴水反应产生白色沉淀
	$n \text{C}_6\text{H}_5\text{OH} + n\text{HCHO} \xrightarrow{\text{H}^+} \text{H} \left[ \text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})\text{CH}_2 \right]_n \text{OH} + (n-1)\text{H}_2\text{O}$	缩聚反应, 制取酚醛树脂
醛	$\text{CH}_3\text{CHO} + \text{HCN} \xrightarrow{\text{催化剂}} \text{CH}_3\text{CH}(\text{CN})\text{OH}$	加成反应, 反应原理: $\text{R}-\overset{\text{O}\delta^-}{\parallel}{\underset{\delta^+}{\text{C}}}-\text{H} + \text{A}-\text{B} \rightarrow \text{R}-\overset{\text{OA}}{\underset{\text{B}}{\text{C}}}-\text{H}$
	$\text{CH}_3\text{CHO} + \text{H}_2 \xrightarrow[\Delta]{\text{催化剂}} \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	加成反应/还原反应
	$\text{CH}_3\text{CHO} + 2[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH} \xrightarrow{\Delta} \text{CH}_3\text{COONH}_4 + 3\text{NH}_3 + 2\text{Ag}\downarrow + \text{H}_2\text{O}$ $\text{CH}_3\text{CHO} + 2\text{Cu}(\text{OH})_2 + \text{NaOH} \xrightarrow{\Delta} \text{CH}_3\text{COONa} + \text{Cu}_2\text{O}\downarrow + 3\text{H}_2\text{O}$	氧化反应
	$2\text{CH}_3\text{CHO} + \text{O}_2 \xrightarrow[\Delta]{\text{催化剂}} 2\text{CH}_3\text{COOH}$	
酸	$n\text{HOOC}(\text{CH}_2)_4\text{COOH} + n\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH} \xrightarrow[\Delta]{\text{催化剂}} \left[ \text{C}(\text{O})-(\text{CH}_2)_4-\text{C}(\text{O})-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O} \right]_n + 2n\text{H}_2\text{O}$	缩聚反应
酯	$\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow[\Delta]{\text{稀 H}_2\text{SO}_4} \text{CH}_3\text{COOH} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 + \text{NaOH} \xrightarrow{\Delta} \text{CH}_3\text{COONa} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	水解反应/取代反应
氨基酸	$2\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH} \rightarrow \text{NH}_2\text{CH}_2\text{CO}-\text{NHCH}_2\text{COOH} + \text{H}_2\text{O}$	取代反应, 酸脱-OH 氨脱-H
	$n\text{NH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH} \rightarrow \left[ \text{NH}-\text{CH}_2-\text{CO} \right]_n + n\text{H}_2\text{O}$	缩聚反应

# 元素周期表

族/周期	I A	II A	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII	IX	X	I B	II B	III A	IV A	V A	VI A	VII A	0 族
1	<b>1 H</b> 氢 1s <sup>1</sup> 1.008																	2 He 氦 1s <sup>2</sup> 4.003
2	<b>3 Li</b> 锂 2s <sup>1</sup> 6.938	<b>4 Be</b> 铍 2s <sup>2</sup> 9.012																<b>10 Ne</b> 氖 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup> 20.18
3	<b>11 Na</b> 钠 3s <sup>1</sup> 22.99	<b>12 Mg</b> 镁 3s <sup>2</sup> 24.30																<b>18 Ar</b> 氩 3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup> 39.95
4	<b>19 K</b> 钾 4s <sup>1</sup> 39.10	<b>20 Ca</b> 钙 4s <sup>2</sup> 40.08	<b>21 Sc</b> 钪 3d <sup>1</sup> 4s <sup>2</sup> 44.96	<b>22 Ti</b> 钛 3d <sup>2</sup> 4s <sup>2</sup> 47.87	<b>23 V</b> 钒 3d <sup>3</sup> 4s <sup>2</sup> 50.94	<b>24 Cr</b> 铬 3d <sup>5</sup> 4s <sup>1</sup> 52.00	<b>25 Mn</b> 锰 3d <sup>5</sup> 4s <sup>2</sup> 54.94	<b>26 Fe</b> 铁 3d <sup>6</sup> 4s <sup>2</sup> 55.85	<b>27 Co</b> 钴 3d <sup>7</sup> 4s <sup>2</sup> 58.93	<b>28 Ni</b> 镍 3d <sup>8</sup> 4s <sup>2</sup> 58.69	<b>29 Cu</b> 铜 3d <sup>10</sup> 4s <sup>1</sup> 63.55	<b>30 Zn</b> 锌 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 65.38	<b>31 Ga</b> 镓 4s <sup>2</sup> 4p <sup>1</sup> 69.72	<b>32 Ge</b> 锗 4s <sup>2</sup> 4p <sup>2</sup> 72.63	<b>33 As</b> 砷 4s <sup>2</sup> 4p <sup>3</sup> 74.92	<b>34 Se</b> 硒 4s <sup>2</sup> 4p <sup>4</sup> 78.97	<b>35 Br</b> 溴 4s <sup>2</sup> 4p <sup>5</sup> 79.90	<b>36 Kr</b> 氪 4s <sup>2</sup> 4p <sup>6</sup> 83.80
5	<b>37 Rb</b> 铷 5s <sup>1</sup> 85.47	<b>38 Sr</b> 锶 5s <sup>2</sup> 87.62	<b>39 Y</b> 钇 4d <sup>1</sup> 5s <sup>2</sup> 88.91	<b>40 Zr</b> 锆 4d <sup>2</sup> 5s <sup>2</sup> 91.22	<b>41 Nb</b> 铌 4d <sup>4</sup> 5s <sup>1</sup> 92.91	<b>42 Mo</b> 钼 4d <sup>5</sup> 5s <sup>1</sup> 95.95	<b>43 Tc</b> 锝 4d <sup>5</sup> 5s <sup>2</sup> [98]	<b>44 Ru</b> 钌 4d <sup>7</sup> 5s <sup>1</sup> 101.1	<b>45 Rh</b> 铑 4d <sup>8</sup> 5s <sup>1</sup> 102.9	<b>46 Pd</b> 钯 4d <sup>10</sup> 106.4	<b>47 Ag</b> 银 4d <sup>10</sup> 5s <sup>1</sup> 107.9	<b>48 Cd</b> 镉 4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 112.4	<b>49 In</b> 铟 5s <sup>2</sup> 5p <sup>1</sup> 114.8	<b>50 Sn</b> 锡 5s <sup>2</sup> 5p <sup>2</sup> 118.7	<b>51 Sb</b> 锑 5s <sup>2</sup> 5p <sup>3</sup> 121.8	<b>52 Te</b> 碲 5s <sup>2</sup> 5p <sup>4</sup> 127.6	<b>53 I</b> 碘 5s <sup>2</sup> 5p <sup>5</sup> 126.9	<b>54 Xe</b> 氙 5s <sup>2</sup> 5p <sup>6</sup> 131.3
6	<b>55 Cs</b> 铯 6s <sup>1</sup> 132.9	<b>56 Ba</b> 钡 6s <sup>2</sup> 137.3	<b>57-71 La~Lu</b> 镧系	<b>72 Hf</b> 铪 5d <sup>2</sup> 6s <sup>2</sup> 178.5	<b>73 Ta</b> 钽 5d <sup>3</sup> 6s <sup>2</sup> 180.9	<b>74 W</b> 钨 5d <sup>4</sup> 6s <sup>2</sup> 183.8	<b>75 Re</b> 铼 5d <sup>5</sup> 6s <sup>2</sup> 186.2	<b>76 Os</b> 锇 5d <sup>6</sup> 6s <sup>2</sup> 190.2	<b>77 Ir</b> 铱 5d <sup>7</sup> 6s <sup>2</sup> 192.2	<b>78 Pt</b> 铂 5d <sup>9</sup> 6s <sup>1</sup> 195.1	<b>79 Au</b> 金 5d <sup>10</sup> 6s <sup>1</sup> 197.0	<b>80 Hg</b> 汞 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 200.6	<b>81 Tl</b> 铊 6s <sup>2</sup> 6p <sup>1</sup> 204.4	<b>82 Pb</b> 铅 6s <sup>2</sup> 6p <sup>2</sup> 207.2	<b>83 Bi</b> 铋 6s <sup>2</sup> 6p <sup>3</sup> 209.0	<b>84 Po</b> 钋 6s <sup>2</sup> 6p <sup>4</sup> [209]	<b>85 At</b> 砹 6s <sup>2</sup> 6p <sup>5</sup> [222]	<b>86 Rn</b> 氡 6s <sup>2</sup> 6p <sup>6</sup> [222]
7	<b>87 Fr</b> 钫 7s <sup>1</sup> [223]	<b>88 Ra</b> 镭 7s <sup>2</sup> [226]	<b>89-103 Ac~Lr</b> 锕系	<b>104 Rf</b> 钚* (6d <sup>2</sup> 7s <sup>2</sup> ) [267]	<b>105 Db</b> 镅* (6d <sup>3</sup> 7s <sup>2</sup> ) [270]	<b>106 Sg</b> 锿* [269]	<b>107 Bh</b> 鰐* [270]	<b>108 Hs</b> 鏷* [270]	<b>109 Mt</b> 镻* [278]	<b>110 Ds</b> 鎇* [281]	<b>111 Rg</b> 轮* [281]	<b>112 Cn</b> 镆* [285]	<b>113 Nh</b> 铈* [286]	<b>114 Fl</b> 铁* [289]	<b>115 Mc</b> 镆* [290]	<b>116 Lv</b> 鉷* [293]	<b>117 Ts</b> 铊* [293]	<b>118 Og</b> 气* [294]

原子序数 — **92 U** — 元素符号, 红色  
元素名称 — 铀 — 指放射性元素  
注\*的是人造元素  
价电子排布, 括号指可能的电子排布  
相对原子质量 (加括号的数指为该放射性元素半衰期最长同位素的质量数)

过渡元素

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