

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

九年制义务教育暨高中学生系列学习词典

——高中化学学习词典



## 编者的话

《高中化学学习词典》以国家教委制订的《全日制中学化学教学大纲(修订本)》为根据,涵盖国家教委考试中心编订的《普通高等学校招生全国统一考试化学科说明》规定的要求,着眼于提高学生的素质,培养学生系统地掌握课程内容的内在联系,理解和运用知识、技能,培养分析问题和解决问题的能力。

这部词典以初中义务教育后的高中一、二、三年级学生为读者对象,不兼顾化学教师。在词目释文的内容上力图紧密结合学生的学习需要(如学生中普遍存在于认识上、操作上及学习方法上的疑难、困惑或缺陷等),重视联系社会生活、生产等实际,让学生理解化学知识、技能等的应用与价值。对于重要的化学概念、理论和定律等词条,释文在说明基本知识的同时,还简要介绍这些知识的发展过程、使用范围及其学习要求和方法;对于化学实验、化学计算和化学用语等词条,释文从智力技能和操作(计算)技能两方面说明,注意引导学生培养自己的思维能力和操作能力,还介绍了一些简便有效的自我训练的方法。还注意到与初中卷的词条内容的衔接。

这部词典主要按照化学知识构成对词目进行分类,除化学基本概念和原理、元素化合物知识、化学基本计算、化学实验等四个部分之外,还收入了科学家和化学史、化学学习方法方面的内容。对在内容上联系较紧密的词条,设置了参看条,以便于读者参阅、同时避免重复。对于某些词条的释文中必要的注解,直接列于该词条的释文之下。在书末附有全部条目的汉语拼音索引和相应的页码。在查找词条时,可以按词条所属的知识内容查,也可以按词条的汉语拼音查。例如,欲查“原子量”这一词条,可从“化学基本概念和原理”项目内找到该词条,也可以按其汉语拼音音节“yuánz liàng”查到该词条的页码。书末还附有元素周期表。

本词典的副主编是何少华(北京师范大学副教授)和王建成(北京师范大学)。参加本词典撰写工作的有:北京师范大学刘知新(教授)、何少华(副教授)、姚乃红(副教授)、李郁颖(副编审);首都师范大学丁辰兀(副教授);北京师范大学附属实验中学刘振贵(特级教师);北京师范大学附中王天开(高级教师)、芮琴华(高级教师);北京师范大学二附中王美文(高级教师);北京第14中学陆禾(特级教师);北京汇文中学高文会(特级教师);北京市朝阳区教研室傅良骥(高级教师)。

编者

1993年9月

## 前 言

为了配合我国的基础教育和九年制义务教育的推广普及工作，帮助中小学生学习更好地学习和掌握教学大纲规定的教学内容，给学生平时学习、做作业、复习和考试提供一套高质量有特色、方便实用并相对稳定的工具书，以利于全面提高学生的素质，我们在广泛调查，并征询教委领导部门意见的基础上，编写了《九年制义务教育暨高中学生系列学习词典》。本书按科设卷，其中小学四卷：语文、数学、自然常识、思想品德；初中、高中各九卷：语文、英语、政治、历史、数学、物理、化学、生物、地理，全书共计 22 卷，二万多个词条，七百万字。作为专门为学生而编写的与教学大纲、教材相配套的多卷系列学习词典，这在我国基础教育史上还是首创。

本书是专为中小学生学习而编，处处考虑学生的实际需要。因此框架编排，收词范围紧扣国家教委颁布的新教学大纲，参照使用面广的各种版本教材。小学、初中各卷的编写侧重知识技能，注意全面提高学生的素质。条目的筛选不仅覆盖了教学大纲规定的全部知识，而且根据大纲的新精神，增加一定量的学习方法、学习新思路，以及联系社会生活、生产实际方面的词条。高中各卷还兼顾了高考的需要，收录了总复习、高考指导等方面的内容；释文尽量做到科学性、启发性和实用性的统一。内容的纵深介绍针对小学、初中、高中学生的不同接受能力和学习特点，力求做到递次解析，深入浅出，重点知识还论及其发展过程，以利于学生的理解和运用；适度采用了部分有科学根据的新观点、新资料；文字表述力求简洁、鲜明、准确、生动；为便于学生按教学进度进行学习和查阅，目录按知识块分类设计，并比照大纲和教材的顺序，书后附有汉语拼音索引。

本书由全国人大常委、北京师范大学副校长许嘉璐任主编，各分卷主编大多为国家教委教材审查委员、专家学者。撰稿人都是学术上有造诣，对中学教学有研究的北京师范大学、北京教育学院、北京市教育局系统、北京海淀教师进修学院、北京市重点中小学以及其它部分省市的教授、副教授、高级教师、讲师、基础教育专家，共计 100 余人。几经运筹，勤奋笔耕，历一年半而成。

我们衷心希望全国的中小学生学习以及老师和家长喜欢此工具书，诚恳希望读者在使用过程中给我们提出宝贵意见，以便通过不断修订再版，使之日臻完美，成为中小学生的良师益友。

总编委会  
1993 年 9 月于北京

# 高中化学学习词典

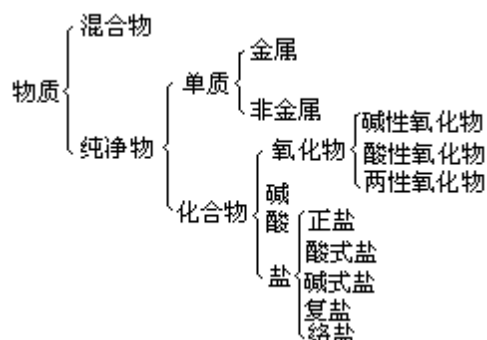
## 一、化学基本概念和基础理论

### 物质的组成

世界上的一切物质都是由元素组成的。科学家已经发现 109 种元素(含自然界存在的元素及人造元素)。元素可分为金属元素和非金属元素。元素呈游离态时为单质，呈化合态时则形成化合物。分子、原子、离子是构成物质最基本的微粒。分子能独立存在，是保持物质化学性质的一种微粒，由分子构成的物质，有非金属单质如  $O_2$ 、白磷等；稀有气体如 Ar，是单原子分子；非金属元素的化合物如氢化物、氧化物、含氧酸、大多数有机物等，它们在固态时均为分子晶体。原子是化学变化中的最小微粒，在化学反应中，原子核外的价电子发生改变，原子重新组合形成新物质。原子可结合成分子，例如  $CO_2$  分子，干冰是由  $CO_2$  分子构成的；原子也可直接构成原子晶体的物质，例如  $SiO_2$  是由 Si 原子和 O 原子按 1 : 2 直接连接构成的。金属单质也可视作是由金属原子构成的物质。离子是带电的原子或原子团，例如  $Na^+$ 、 $OH^-$ 、 $NH_4^+$ 、 $SO_4^{2-}$  等，由阳、阴离子结合构成的物质，例如 NaCl、 $NH_4Cl$ 、MgO 等，它们都是离子晶体。大多数盐、强碱、低价金属氧化物都是离子化合物。

## 物质的分类

世界上的物质有千千万万种，根据组成和性质可将物质大致分为以下几类：



混合物和纯净物混合物是由不同种物质的分子混合而成，没有固定的组成和熔、沸点，例如空气、天然气是气态混合物，石油，一切溶液是液态混合物，玻璃、铁合金是固态混合物。同种元素组成的同素异形体如  $O_2$  和  $O_3$  混合也是混合物。纯淀粉因分子大小不同，没有固定熔点，可以视作混合物。纯净物由同种分子组成，有固定的组成和熔、沸点，例如结晶水合物 ( $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ )、复盐 ( $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ )、络合物 ( $Na_3AlF_6$ )，它们都是纯净物。单质 由同种元素组成的物质。金属单质如 Mg、Cu、Fe 等都是金属晶体，常温下除 Hg 为液体外均为固体。金属具有金属光泽，有良好的导电、导热、延展性，金属在化学反应中作还原剂。非金属单质除金刚石、硅晶体、硼晶体是原子晶体，石墨是碳原子组成的过渡型晶体外，大多数是分子晶体。非金属单质一般无金属光泽、质脆易碎，常温呈气、液或固态。在化学反应中，非金属性强的以氧化性为主，如  $Cl_2$ 、 $Br_2$ 、 $O_2$ ；非金属性弱的常显还原性，如 C、 $H_2$  等。稀有气体的分子是单原子分子。化合物 由两种或两种以上的元素组成的纯净物。根据组成元素种类不同可分为有机化合物和无机化合物。含碳元素的化合物叫有机化合物，其它为无机化合物，习惯上把二氧化碳、碳酸盐等视作无机化合物。无机化合物又可划分为氧化物、碱、酸、盐。氧化物由氧元素与另一种元素组成的化合物。碱性氧化物能跟酸反应生成盐和水，碱性氧化物一定是金属氧化物，低价金属氧化物都是碱性氧化物；酸性氧化物能跟碱反应生成盐和水，例如  $CO_2$ 、 $SO_2$ 、 $SiO_2$  等，酸性氧化物又称酸酐。两性氧化物既能与酸又能与碱反应生成盐和水，例如  $Al_2O_3$ 、 $ZnO$  等。以上三种氧化物又叫成盐氧化物。 $CO$ 、 $NO$ 、 $N_2O$  等不能与碱反应生成同价态的盐，称为不成盐氧化物，另一些如  $H_2O_2$ 、 $Na_2O_2$  等称为过氧化物，其中氧为 -1 价，具有氧化、还原性。酸由氢和酸根组成，能与碱反应生成盐和水。酸是电解质，在水中电离生成氢离子和酸根离子。酸有多种分类法，按酸的电离程度可分为强、中、弱三种酸，强酸有  $HClO_4$ 、 $HI$ 、 $HNO_3$ 、 $H_2SO_4$ 、 $HCl$ 、 $\text{C}_6\text{H}_5\text{SO}_3\text{H}$  等；中强酸为  $H_2SO_3$ 、 $H_3PO_4$ ；弱酸由强至弱的顺序为  $HF$ 、 $RCOOH$ 、 $H_2CO_3$ 、 $H_2S$ 、 $HClO$ 、 $H_2SiO_3$ 。元素的非金属性越强，最高价氧化物的水化物酸性越强。酸根中含氧元素的酸叫含氧酸，不含氧元素的酸叫无氧酸；不挥发的酸有  $H_2SO_4$ 、 $H_3PO_4$ 、 $H_2SiO_3$ ，挥发性的酸有  $HNO_3$ 、 $HX$ 、 $H_2SO_3$ 、 $H_2S$ ；

酸根具有氧化性的酸叫氧化性酸，例如  $\text{HNO}_3$ 、浓  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{HClO}$ ，常见的非氧化性酸(仅  $\text{H}^+$ 有氧化性)为  $\text{HCl}$ 、 $\text{HF}$ 、 $\text{H}_3\text{PO}_4$ ，酸氧化性的强弱与酸性强弱无直接的对应关系。原子的构成原子是由带正电的原子核和带负电的核外电子构成。原子核带的正电荷等于核外电子所带的负电荷，整个原子不显电性。原子核是由质子和中子两种微粒构成。质子带一个单位正电荷(电量为  $1.602 \times 10^{-19}$  库仑)，中子不带电。故原子的核电荷数=质子数=核外电子数=原子序数。原子核非常小，位于原子的中心，它的半径约是原子半径的万分之一，原子的质量 99.5%以上集中在原子核。质子的质量为  $1.6726 \times 10^{-27}$  千克，中子的质量为  $1.6748 \times 10^{-27}$  千克，质子和中子的相对质量分别为 1.007 和 1.008，取整数都为 1。若忽略电子的质量，原子的质量数(A)=质子数(Z)+中子数(N)。电子带一个单位负电荷，电子的质量约为质子质量的 1/1836；核外电子在原子核外的空间作高速旋转运动。

## 同位素

质子数相同而中子数不同的同种元素的不同原子。例如氢有三种同位素， ${}^1_1\text{H}$  氕、 ${}^2_1\text{H}$  (或写作 D) 氘又叫重氢、 ${}^3_1\text{H}$  (或写作 T) 氚又叫超重氢；碳有多种同位素，例如  ${}^{12}_6\text{C}$ 、 ${}^{13}_6\text{C}$ 、 ${}^{14}_6\text{C}$  等。在 19 世纪末先发现了放射性同位素，随后又发现了天然存在的稳定同位素，并测定了同位素的丰度。大多数天然元素都存在几种稳定的同位素。同种元素的各种同位素质量不同，但化学性质几乎相同。许多同位素有重要的用途，例如  ${}^{12}_6\text{C}$  是作为确定原子量标准的原子； ${}^2_1\text{H}$ 、 ${}^3_1\text{H}$  是制造氢弹的材料； ${}^{235}_{92}\text{U}$  是制造原子弹的材料和核反应堆的原料。同位素示踪法广泛应用于科学研究、工农业生产和医疗技术方面，例如用  ${}^{18}_8\text{O}$  标记化合物确证了酯化反应的历程， ${}^{131}_{53}\text{I}$  用于甲状腺吸碘机能的实验等。



## 核外电子的运动状态

多电子原子核外电子的运动状态各不相同，电子运动的状态从 4 个方面来描述。电子层(用  $n$  表示)根据元素电离能数据分析，核外的电子是分能级分层分布的，依据能量由低到高，离核距离由近及远，依次称为 1、2、3、4、5、6、7……电子层，分别用符号 K、L、M、N、O、P、Q 表示。电子层是同一组电子在原子核外空间某处出现机会多的区域。电子亚层 表示同一电子层内电子云的不同形状，分别用 s、p、d、f 符号表示。同电子层内亚层的能后按 spdf 顺序逐渐升高；不同电子层中相同亚层的能量随  $n$  增大而升高，例如  $E_{1s}$ 、 $E_{2s}$ 、 $E_{3s}$ ……、 $E_{2p}$ 、 $E_{3p}$ 、 $E_{4p}$ ……，但个别能级出现交错现象，如  $E_{3d}$ 、 $E_{4s}$ 、 $E_{4f}$ 、 $E_{6s}$  等，电子云的伸展方向 电子云在空间的分布具有方向性，s 电子云呈球形对称，无方向(即一个方向)，p 电子云沿 X、Y、Z 轴方向有互相垂直的三种取向，分别用  $P_x$ 、 $P_y$ 、 $P_z$  表示，d 电子云有 5 个方向，f 电子云有 7 个方向。电子层、电子亚层、电子云伸展方向都确定的电子云，在空间的区域称为一个轨道。s、p、d、f 亚层各含有的轨道数分别为 1、3、5、7，各电子层具有的轨道总数为  $n^2$ 。自旋方向 电子的自旋运动有 2 种状态，用“ ”表示。同一轨道上的电子自旋方向相反。总之，由以上 4 个方面便可确定原子核外各个电子的运动状态。

## 原子量

以  $^{12}_6\text{C}$  质量的  $1/12$  为标准, 其它原子的质量跟它相比较所得的一种相对质量, 简称原子量, 没有单位。一个原子的真实质量很小, 例如一个  $^1_1\text{H}$  原子的质量为  $1.6736 \times 10^{-24}$  克、一个  $^{16}_8\text{O}$  原子的质量为  $2.6561 \times 10^{-23}$  克, 用克作单位使用很不方便。1960 年, 国际上统一以  $^{12}_6\text{C}$  的  $1/12$  的质量 ( $1.6606 \times 10^{-24}$  克) 作为质量的标准, 得到统一的各原子的相对质量, 例如同位素  $^1_1\text{H}$  的原子量为 1.007825、同位素  $^{12}_6\text{C}$  的原子量为 12.0000。

元素的原子量是根据天然各同位素原子量及丰度计算的平均值, 例如天然的氢元素含  $^1_1\text{H}$  和  $^2_1\text{H}$  两种同位素, 其组成如下:

同位素符号	同位素原子量	各同位素丰度
$^1_1\text{H}$	1.007825	99.985%
$^2_1\text{H}$	2.0140	0.015%

$$\begin{aligned} \text{氢元素的原子量} &= 1.007825 \times 99.985\% + 2.0140 \times 0.015\% \\ &= 1.00798 \end{aligned}$$

根据同位素的质量数和丰度可以计算元素的近似原子量。

$$\begin{aligned} \text{氢元素的近似原子量} &= 1 \times 99.985\% + 2 \times 0.015\% \\ &= 1.00015 \end{aligned}$$

---

“原子量”是沿用多年的名称。根据法定计量单位应称为相对原子质量。分子量则应称为相对分子质量。

## 电子云

电子云是一种形象化的比喻，电子在原子核外空间的某区域内出现，好象带负电荷的云笼罩在原子核的周围，人们形象地称它为“电子云”。电子



是一种微 氢原子 1s 电子云

氢原子 1s 电子云界面图

观粒子，在原子如此小的空间(直径约  $10^{-10}$  米)内作高速运动，核外电子的运动与宏观物体运动不同，没有确定的方向和轨迹，只能用电子云描述它在原子核外空间某处出现机会的大小。左图为氢原子的 1s 电子云，用小黑点表示氢原子外一个电子在核外某空间单位体积内出现机会的多少，离核近处，黑点密度大，电子出现机会多，离核远处，电子出现机会少。右图为氢原子 1s 电子云的界面图，电子出现机会的 90% 在界面内。电子云有不同的形状，分别用符 s、p、d、f 表示，s 电子云呈球形，在半径相同的球面上，电子出现的机会相同，p 电子云呈纺锤形(或亚铃形)，d 电子云是花瓣形，f 电子云更为复杂。

## 核外电子的排布规律多

电子原子核外电子的排布应遵循以下三个原理： 能量最低原理，核外电子总是首先占据能量最低的轨道，按照近似能级图，电子由低到高进入轨道的顺序为  $1s2s2p3s3p4s3d4p5s4d5p\dots\dots$ 。因能级交错，其中  $E_{4s} < E_{3d}\dots\dots$ ，电子先排满 4s 后再进入 3d，例如钪元素核外 21 个电子依次填充的轨道为  $1s^22s^22p^63s^23p^64s^23d^1$ 。 保里不相容原理，在同一原子中没有运动状态完全相同的电子，即同一个原子中的电子，描述其运动状态的四个方面不可能完全相同，在同一轨道上的电子必须自旋方向相反，每个轨道只能容纳 2 个电子。根据保里不相容原理，各电子层最多容纳的电子总数为  $2n^2$ ；周期表中各周期含有元素的数目以及填充的能级如下：

洪特规则，电子进入同一亚层的各个轨道(也称等价轨道)时，总是尽先分占不同轨道，而且自旋方向相同，例如氮原子核外电子排布的轨道表示式为：N 原子的价电子中有 3 个未成对电子，这与 N 原子的成键情况和化合物的组成、结构有密切的关系。洪特还指出，等价轨道上的电子排布处于以下状态比较稳定。

$$\text{即} \begin{cases} \text{全满} & p^6、d^{10}、f^{14} \\ \text{半满} & p^3、d^5、f^7 \\ \text{全空} & p^0、d^0、f^0 \end{cases}$$

例如铬原子的电子排布式是  $1s^22s^22p^63s^23p^63d^54s^1$ ，而不是  $1s^22s^22p^63s^23p^63d^44s^2$ 。

## 化学键

分子和晶体中相邻两原子或多个原子之间存在的强烈的相互作用。例如水分子中 2 个氢原子和一个氧原子之间形成 2 个共价键,强烈地结合在一起,成为稳定的  $\text{H}_2\text{O}$  分子。又如食盐晶体中,钠离子与氯离子通过静电作用强烈地结合在一起,形成稳定的  $\text{NaCl}$  晶体。化学键主要包括共价键、离子键和金属键。分子间作用力以及氢键不属于化学键。与化学键相比,分子间作用力很弱,提供较少的能量就能破坏分子间力,使分子晶体的物质熔化,例如冰易熔化成水,被破坏的是分子间力;若使水发生分解,需要高温才能使氢氧共价键断裂。

## 离子键

阴阳离子间通过静电作用所形成的化学键。例如 NaCl 晶体是由阳离子  $\text{Na}^+$  与阴离子  $\text{Cl}^-$  通过静电作用相互吸引，当离子间的吸引力与排斥力达成平衡时，则形成稳定的离子键。离子的电荷是球形对称分布的，它可以从不同的方向同时吸引多个异性离子，例如 NaCl 晶体中，每个  $\text{Na}^+$  同时吸引 6 个  $\text{Cl}^-$ ，每个  $\text{Cl}^-$  也同时吸引 6 个  $\text{Na}^+$ ；在 CsCl 晶体中，每个  $\text{Cs}^+$  同时吸引 8 个  $\text{Cl}^-$ ，每个  $\text{Cl}^-$  也同时吸引 8 个  $\text{Cs}^+$ 。离子键没有方向性、没有饱和性，一个离子周围容纳的异性离子数及其配置方式决定于离子间的静电引力。

活泼金属如钾、钠、钙等跟活泼非金属如氯、溴、氧等化合时，形成典型的离子键。由离子键形成的化合物叫做离子化合物。离子化合物中，离子的电荷越大，半径越小，离子键越强，其熔沸点就越高。例如 MgO 的熔点比 NaCl 高：MgO 的熔点为 2852 ，NaCl 的熔点为 801 。

## 共价键

原子间通过共用电子对(即电子云的重叠)所形成的化学键。例如  $H_2$  分子,两个氢原子的  $1s$  电子配对共用,使每个氢原子具有氦原子的稳定结构;又如  $HCl$  分子, $H$  原子和  $Cl$  原子各提供一个未成对电子,共用的一对电子把两个原子核吸引在一起,形成稳定的  $HCl$  分子。共价键形成的本质是电子云的重叠,例如  $HCl$  分子形成时, $H$  原子的  $1s$  电子云与氯原子的未成对电子占据的  $3p$  电子云重叠,两核间的电子云密度增大,形成  $HCl$  分子。电子云重叠越多,分子越稳定。根据价键理论,两个原子的未成对电子,只有自旋相反,才能配对形成一个共价键。共价键具有饱和性,例如  $\begin{array}{c} O-H \\ | \\ H \end{array}$  分子,氢原子形成一个共价键,氧原子可形成两个共价键;在  $N_2$  分子中,两个  $N$  原子以共价叁键相结合。共价键也具有方向性, $s$  电子云无方向, $p$  电子云和  $d$  电子云均有方向性, $p$  和  $d$  电子参加成键时,一定要沿着电子云伸展的方向进行重叠,才能形成稳定的分子。共价键的方向性和饱和性使分子具有一定的空间构型。非金属原子间化合形成共价键,若成键两原子相同,形成非极性共价键;若成键两原子不同,则形成极性共价键。

## 键 长

分子中两个成键原子核间的平均距离。例如 H—H 键长为  $0.74 \times 10^{-10}$  米、Cl - Cl 键长为  $1.988 \times 10^{-10}$  米。一般两原子间的键长越短，键越牢固，分子越稳定。对同族元素的单质或同类化合物的双原子分子，其键长随原子序数递增而增大，例如：

	F—F	Cl - Cl	Br—Br	I—I
键长( $10^{-10}$ 米)	1.418	1.988	2.284	2.666

	H—F	H - Cl	H—Br	H - I
键长( $10^{-10}$ 米)	0.918	1.274	1.408	1.608

碳原子间可形成单键、双键、叁键、键数越多，键长越短，例如：

	C - C 单键	C=C 双键	C ≡ C 叁键
键长( $10^{-10}$ 米)	1.54	1.34	1.20



## 键 角

分子中键和键之间的夹角。例如  $\text{H}_2\text{O}$  分子中两个  $\text{H}-\text{O}$  键的夹角为  $104.5^\circ$ ， $\text{CO}_2$  分子中两个  $\text{C}=\text{O}$  键间的夹角为  $180^\circ$ 。键长和键角决定分子的空间构型。 $\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{CO}_2$  同是三原子分子，但  $\text{H}_2\text{O}$  分子是 V 形而  $\text{CO}_2$  分子是直线形。 $\text{NH}_3$  分子中三个  $\text{N}-\text{H}$  键的键长相等，两个  $\text{N}-\text{H}$  键之间的夹角为  $107^\circ 18'$ ， $\text{NH}_3$  分子呈三角锥形。又如  $\text{CH}_4$  分子，四个  $\text{C}-\text{H}$  键的键长相等， $\text{C}-\text{H}$  键之间的夹角均为  $109^\circ 28'$ ， $\text{CH}_4$  分子是正四面体形。周期表中，同族非金属元素的氢化物或卤化物，组成相似，分子结构相同，例如第 A 族元素形成的  $\text{CH}_4$ 、 $\text{CCl}_4$ 、 $\text{SiH}_4$ 、 $\text{SiF}_4$  等，它们的分子均是正四面体结构。又如氧族的氢化物  $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{H}_2\text{Se}$  等，它们的分子均是 V 形结构。

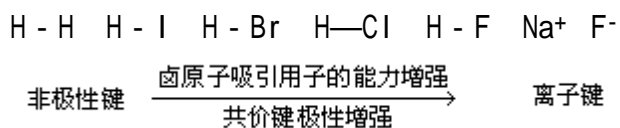
键能形成一摩尔共价键放出的能量或拆开一摩尔共价键成为原子需要吸收的能量。键能的单位是千焦/摩。例如  $\text{H}-\text{H}$  键的键能为 436 千焦/摩，表示形成一摩尔  $\text{H}-\text{H}$  键放出的能量或拆开一摩尔  $\text{H}-\text{H}$  键需要吸收的能量均为 436 千焦/摩。键能又称解离能。键能的大小标志着共价键的强弱，键能越大，键越牢固，该分子越稳定。例如  $\text{Cl}_2$  和  $\text{I}_2$  的键能分别为 239.74 千焦/摩、148.95 千焦/摩。对于分子， $\text{Cl}_2$  比  $\text{I}_2$  稳定，对于原子， $\text{Cl}$  比  $\text{I}$  活泼。若用  $Q$  表示反应热， $E$  表示键能，则任何一个化学反应的反应热与键能的关系是：

$$Q = E_{\text{生成物}} - E_{\text{反应物}}$$

## 键的极性

两个原子形成共价键时，由于原子吸引电子的能力不同，共用电子对偏向原子的一方，吸引电子能力强的原子带部分负电荷，吸引电子能力弱的原子带部分正电荷，共价键有了极性，称为极性共价键，简称极性键。共价键的极性与两成键原子吸引电子的能力(即电负性)的差值有关。同种元素的原子成键时，两原子吸引电子的能力相同，电子对无偏向，形成非极性共价键；不同种元素的原子成键时，共用电子对偏向吸引电子能力强的原子，形成极性共价键。两原子吸引电子能力的差值越大，键的极性越强，当这种差值大到一定程度时，电子从一个原子转移到另一个原子，共价键转变成离子键。

例如：



## 分子的极性

分子可分为极性分子和非极性分子。以极性共价键结合形成的分子，例如 HCl 分子中，共用电子对偏向氯原子，氯原子一端带部分负电荷，氢原子一端带部分正电荷，整个分子中电荷分布不均匀，正电荷重心和负电荷重心不重合，分子形成偶极，这种分子叫极性分子。有些分子如氢分子中的电荷分布均匀，正、负电荷重心重合，这种分子叫非极性分子。分子有无极性与键的极性和分子的结构有关：以非极性键结合的双原子分子为非极性分子，如  $O_2$ 、 $Cl_2$ 、 $N_2$  等；以极性键结合的双原子分子是极性分子，如 HCl、CO 等；极性键结合的多原子分子是否有极性，还决定于分子的空间结构，例如  $CO_2$  是直线形分子 ( $O=C=O$ )，分子中两个 C=O 极性键对称地分布在碳原子的两边，

两个键的极性互相抵消， $CO_2$  是非极性分子。三氟化硼分子  $\left[ \begin{array}{c} F & & F \\ & \diagdown & / \\ & B & \\ & / & \diagdown \\ F & & F \end{array} \right]$  为平面

正三角形，甲烷分子  $\left[ \begin{array}{c} H \\ | \\ H-C-H \\ | \\ H \end{array} \right]$  是正四面体结构，这些分子由于结构对称，

键的极性互相抵消，正、负电荷重心重合，均为非极性分子。又如水分子是

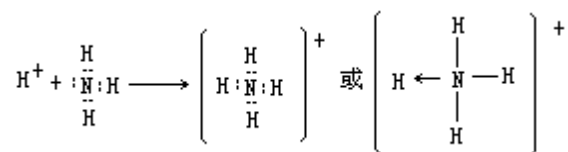
V 形分子  $\left( \begin{array}{c} O \\ / \quad \backslash \\ H \quad H \end{array} \right)$ ，两个 H—O 极性键偏向分子的一端，整个分子正、负电

荷重心不重合，是极性分子。氨分子呈三角锥形  $\left[ \begin{array}{c} N \\ | \\ H \quad H \quad H \end{array} \right]$ ，也是极性分子。

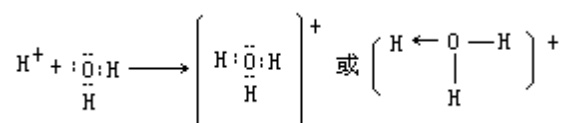
分子的极性会影响物质的性质如溶解性，极性分子易溶于极性溶剂，非极性分子易溶于非极性有机溶剂。例如， $NH_3$ 、HCl 极易溶于水，难溶于有机溶剂。而  $Br_2$ 、 $I_2$  难溶于水，易溶于  $CCl_4$ ，苯、汽油等。根据物质在不同溶剂中具有不同的溶解性，可用液-液萃取分离的方法分离提纯物质。

## 配位键

成键原子由单方面提供电子对与另一原子共用形成的共价键，配位键可表示为 A ← B。例如，氨分子与氢离子结合形成铵根离子：

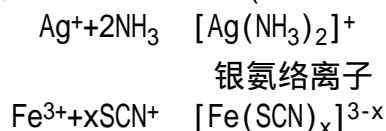


氨分子中的氮原子上有一对孤对电子，氢离子的 1s 是空轨道。NH<sub>3</sub> 与 H<sup>+</sup> 反应时，N 原子上的孤对电子进入 H<sup>+</sup> 的 1s 轨道，成为 N 与 H 两原子的共用电子对，形成了配位键。NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 中的 4 个共价键是完全等同的，它们的键长、键能和键角均相等，构成正四面体的空间结构。又如水合氢离子也是以配位键形成的。



水分子中的氧原子上有二对孤对电子，其中一对进入 H<sup>+</sup> 的 1s 空轨道，形成了配位键。形成配位键必须具备两个条件：一个原子要有能接受孤对电子的空轨道；另一个原子要具有能提供的孤对电子。

配位键广泛存在，通过配位键还能形成复杂的离子(或分子)。过渡元素的离子，如 Fe<sup>3+</sup>、Cu<sup>2+</sup>、Ag<sup>+</sup> 等都具有能接受电子对的空轨道，称为中心离子；一些分子或离子，如 NH<sub>3</sub>、H<sub>2</sub>O、Cl<sup>-</sup>、CN<sup>-</sup>、SCN<sup>-</sup> 等具有可提供的孤对电子，称为配位体。中心离子与配位体通过配位键结合，形成的复杂离子叫络离子(或配位离子)，形成的中性分子叫络分子(或配位化合物)。例如：



第二个反应式中，x 可以是 1、2……6。若 x=1 时，生成 [Fe(SCN)]<sup>2+</sup> 络离子，x=3 时，生成 Fe(SCN)<sub>3</sub> 络分子。

## 离子晶体

离子间通过离子键结合形成的晶体。在离子晶体中，阴、阳离子按照一定的格式交替排列，具有一定的几何外形，例如 NaCl 是正立方体晶体，Na<sup>+</sup>离子与 Cl<sup>-</sup>离子相间排列，每个 Na<sup>+</sup>离子同时吸引 6 个 Cl<sup>-</sup>离子，每个 Cl<sup>-</sup>离子同时吸引 6 个 Na<sup>+</sup>。不同的离子晶体，离子的排列方式可能不同，形成的晶体类型也不一定相同。离子晶体中不存在分子，通常根据阴、阳离子的数目比，用化学式表示该物质的组成，如 NaCl 表示氯化钠晶体中 Na<sup>+</sup>离子与 Cl<sup>-</sup>离子个数比为 1 : 1，CaCl<sub>2</sub> 表示氯化钙晶体中 Ca<sup>2+</sup>离子与 Cl<sup>-</sup>离子个数比为 1 : 2。

离子晶体是由阴、阳离子组成的，离子间的相互作用是较强烈的离子键。离子晶体具有较高的熔、沸点，常温呈固态；硬度较大，比较脆，延展性差；在熔融状态或水溶液中易导电；大多数离子晶体易溶于水，并形成水合离子。离子晶体中，若离子半径越小，离子带电荷越多，离子键越强，该物质的熔、沸点一般就越高，例如下列三种物质，其熔沸点由低到高排列的顺序为，KCl < NaCl < MgO。

## 原子晶体

相邻原子间以共价键结合而形成的空间网状结构的晶体。例如金刚石晶体，是以一个碳原子为中心，通过共价键连接 4 个碳原子，形成正四面体的空间结构，每个碳环有 6 个碳原子组成，所有的 C - C 键键长为  $1.55 \times 10^{-10}$  米，键角为  $109^\circ 28'$ ，键能也都相等，金刚石是典型的原子晶体，熔点高达 3550，是硬度最大的单质。原子晶体中，组成晶体的微粒是原子，原子间的相互作用是共价键，共价键结合牢固，原子晶体的熔、沸点高，硬度大，不溶于一般的溶剂，多数原子晶体为绝缘体，有些如硅、锗等是优良的半导体材料。原子晶体中不存在分子，用化学式表示物质的组成，单质的化学式直接用元素符号表示，两种以上元素组成的原子晶体，按各原子数目的最简比写化学式。常见的原子晶体是周期系第 A 族元素的一些单质和某些化合物，例如金刚石、硅晶体、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{SiC}$  等。对不同的原子晶体，组成晶体的原子半径越小，共价键的键长越短，即共价键越牢固，晶体的熔，沸点越高，例如金刚石、碳化硅、硅晶体的熔沸点依次降低。

## 金属晶体

由金属键形成的单质晶体。金属单质及一些金属合金都属于金属晶体，例如镁、铝、铁和铜等。金属晶体中存在金属离子(或金属原子)和自由电子，金属离子(或金属原子)总是紧密地堆积在一起，金属离子和自由电子之间存在较强烈的金属键，自由电子在整个晶体中自由运动，金属具有共同的特性，如金属有光泽、不透明，是热和电的良好导体，有良好的延展性和机械强度。大多数金属具有较高的熔点和硬度，金属晶体中，金属离子排列越紧密，金属离子的半径越小、离子电荷越高，金属键越强，金属的熔、沸点越高。例如周期系 IA 族金属由上而下，随着金属离子半径的增大，熔、沸点递减。第三周期金属按 Na、Mg、Al 顺序，熔沸点递增。

## 分子晶体

分子间以范德华力相互结合形成的晶体。大多数非金属单质及其形成的化合物如干冰( $\text{CO}_2$ )、 $\text{I}_2$ 、大多数有机物，其固态均为分子晶体。分子晶体是由分子组成，可以是极性分子，也可以是非极性分子。分子间的作用力很弱，分子晶体具有较低的熔、沸点，硬度小、易挥发，许多物质在常温下呈气态或液态，例如  $\text{O}_2$ 、 $\text{CO}_2$  是气体，乙醇、冰醋酸是液体。同类型分子的晶体，其熔、沸点随分子量的增加而升高，例如卤素单质的熔、沸点按  $\text{F}_2$ 、 $\text{Cl}_2$ 、 $\text{Br}_2$ 、 $\text{I}_2$  顺序递增；非金属元素的氢化物，按周期系同主族由上而下熔沸点升高；有机物的同系物随碳原子数的增加，熔沸点升高。但  $\text{HF}$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$  等分子间，除存在范德华力外，还有氢键的作用力，它们的熔沸点较高。

分子组成的物质，其溶解性遵守“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的有机溶剂，例如  $\text{NH}_3$ 、 $\text{HCl}$  极易溶于水，难溶于  $\text{CCl}_4$  和苯；而  $\text{Br}_2$ 、 $\text{I}_2$  难溶于水，易溶于  $\text{CCl}_4$ 、苯等有机溶剂。根据此性质，可用  $\text{CCl}_4$ 、苯等溶剂将  $\text{Br}_2$  和  $\text{I}_2$  从它们的水溶液中萃取、分离出来。



## 元素周期律

元素的性质随着元素的原子序数(即核电荷数)的递增而呈周期性变化的规律。早在 19 世纪,人们已经发现了 63 种元素,许多科学家试图按性质将元素系统地分类,直到 1869 年,俄国化学家门捷列夫在前人经验的基础上,从大量的实验事实中,总结得出一条规律:元素的性质随着原子量的递增而呈周期性的变化,同时发表了元素周期表。随着科学的发展,现在人们对元素周期律有了更深刻的认识,元素的性质即原子半径、第一电离能、元素的主要化合价随元素原子序数的递增呈现周期性的变化。元素性质的周期性变化是元素原子核外电子排布周期性变化的结果。周期律的发现,揭示了众多元素之间的内在联系,有力地推动了化学及其它学科的发展,原子量的量的变化(或原子序的增减变化)而引起的元素性质质变的事实,充分证明了量变到质变规律的普遍性。

## 元素周期表

简称周期表。根据元素的性质随原子序数的递增呈周期性变化的规律，按原子序数排列而成的表。元素周期表有多种形式，现在最常用的是维尔纳长式周期表，根据元素周期律，把电子层数相同的元素，按原子序数递增的顺序从左到右排成横行，称为一个周期；把最外层电子数相同的元素按电子层数递增的顺序由上而下排成纵行，称为一个族。长周期表中有 7 个周期，第 1、2、3 为短周期，第 4、5、6 为长周期，各周期含有元素数目依次为 2、8、8、18、18、32，第 7 周期还未排满，叫不完全周期。元素所在的周期数等于该元素原子核外的电子层数。长周期表有 18 个族(用罗马数字表示)，其中有 7 个主族(用 A 表示)、7 个副族(用 B 表示)、一个第 Ⅷ 族，一个 0 族。主族元素所在的族数等于该元素最外层的电子数。

元素的一些性质与元素在周期表中的位置密切相关，例如 元素的最高化合价=最外层电子数=族序数，元素的最低负价=8—最高化合价。同周期元素从左到右，原子半径递减，最外层电子数递增，元素的金属性减弱、非金属性增强；同主族元素由上而下，电子层数增加，原子半径增大，金属性增强而非金属性减弱。最高价氧化物对应的水化物，按同周期从左到右，随元素的非金属性增强，其酸性增强；按同族由上而下，最高价氧化物的水化物碱性增强。同周期的气态氢化物从左到有稳定性增强，同主族的气态氢化物由上而下稳定性减弱。同周期的气态氢化物与稀有气体元素的原子具有相同的质子数和核外电子数。熟悉元素在周期表中的位置，运用周期律，能更好地掌握并推断元素及其化合物的性质。

## 同素异形体(亦称同素异性体)

同种元素组成的不同单质，例如石墨和金刚石、氧气和臭氧、白磷和红磷等。同素异形体的分子组成或晶体结构不同，它们的物理性质和化学性质有明显的区别，例如金刚石是由碳原子以共价键连接形成的正四面体空间网状结构的原子晶体；石墨是一种层状结构的过渡型晶体，层内碳原子以共价键结合形成正六边形网状结构，层与层之间距离较大，相当于分子间力的作用。金刚石是硬度最大的物质，不能导电；而石墨的硬度较小，层之间可以相对滑动，导电性好，化学性质较金刚石活泼。又如白磷和红磷，白磷是由正四面体结构的分子( $P_4$ )组成，为白色腊状固体，有剧毒，易溶于 $CS_2$ ，着火点低(40 )，在空气中可自燃；红磷是较复杂的层状晶体，红色粉末，无毒，不溶于 $CS_2$ ，着火点 240 。隔绝空气加热温度升至 260 时，白磷转变成红磷，红磷受热在 416 时先升华，蒸气冷却又变为白磷。 $O_2$  和  $O_3$  的分子组成不同， $O_3$  是较  $O_2$  更活泼的氧化剂。

## 电子式

表示原子或离子最外层电子结构的式子。原子的电子式是在元素符号的周围用小黑点(或×)表示原子的最外层电子,例如钠原子的电子式为  $\text{Na}\cdot$ , 氯原子的电子式为  $:\ddot{\text{Cl}}\cdot$ 。离子的电子式与原子的电子式的写法略有不同,简单阳离子是由原子失去最外层电子后形成的,一般用离子符号表示,例如  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 。简单阴离子和带电的原子团的电子式必须加方括号,并在括号的

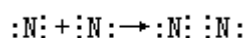
右上角标出该离子所带电荷的电性和电量,例如氯离子的电子式为  $\left[:\ddot{\text{Cl}}:\right]^-$ , 氢氧根离子的电子式为  $\left[:\ddot{\text{O}}:\text{H}\right]^-$ , 铵根离子的电子式为  $\left[\begin{array}{c} \text{H} \\ \text{H}:\ddot{\text{O}}:\text{H} \\ \text{H} \end{array}\right]^+$

。运用电子式还可以表示共价化合物分子、离子化合物以及烃基和官能团等结构,例如  $\text{NH}_3$ 、 $\text{C}_2\text{H}_2$ 、 $\text{Na}_2\text{O}_2$ 、 $-\text{C}_2\text{H}_5$ 、 $-\text{OH}$  的电子式分别为:

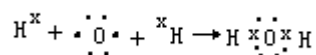
$\begin{array}{c} \text{H} \\ \text{N}:\text{H} \\ \text{H} \end{array}$ 、 $\text{H}:\text{C}::\text{C}:\text{H}$ 、 $\text{Na}^+ \left[:\ddot{\text{O}}:\ddot{\text{O}}:\right]^{2-} \text{Na}^+$ 、 $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \text{C}:\text{C} \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$ 、 $:\ddot{\text{O}}:\text{H}$ 。由多个原子组成的化合物或基团的电子式中,元素符号周围小黑点的总数应该等于电子式中所有原子最外层电子数之和。

## 电子式表示共价化合物和离子化合物的形成过程

用电子式表示由原子形成共价化合物和离子化合物过程的式子。例如氮分子形成的电子式为：

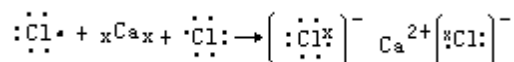


式子的左边是两个氮原子的电子式，根据氮原子的电子排布式(1s<sup>2</sup>2s<sup>2</sup>2p<sup>3</sup>)，每个氮原子有三个未成对电子，一对成对电子。反应时，两个氮原子的未成对电子形成三对共用电子对，用箭头表示生成了氮分子。氮分子中，每个氮原子均具有与氖原子相同电子层结构的 8 电子稳定结构，N—N 键为非极性共价键。又如水分子形成的电子式为：



式子表示一个氧原子和两个氢原子分别共用一对电子形成稳定的水分子。水分子中，氢原子具有氦一样的两电子稳定结构，氧原子具有氖一样的 8 电子稳定结构，共用电子对偏向电负性大的氧原子一方，氢氧键是极性共价键。

电子式也可表示离子化合物的形成过程，如氯化钙形成的电子式为：



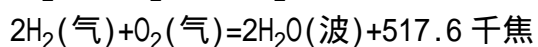
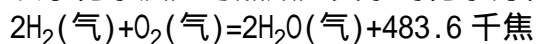
式子表示一个钙原子失去 2 个价电子，变成 8 电子稳定结构的正 2 价钙离子，两个氯原子各得 1 个电子成为 8 电子稳定结构的负一价氯离子，负离子须加方括号。钙离子和氯离子通过静电作用形成离子化合物氯化钙。

## 原子的核外电子排布式

表示原子核外电子在每个电子层中各个亚层排布情况的式子。书写电子排布式时，要从左向右按电子层能量递增的顺序排列；每个电子层中的亚层是按 s p d f 能量递增的顺序排列；各电子亚层上的电子数标在亚层符号的右上角。例如氮原子的电子排布式为  $1s^2 2s^2 2p^3$ ，它表示氮原子核外 7 个电子的排布情况，第一电子层( $1s^2$ )2 个、第二电子层( $2s^2 2p^3$ )5 个。铁原子的电子排布式为  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$ ，铁原子核外 26 个电子，第一电子层( $1s^2$ )2 个、第二电子层( $2s^2 2p^6$ )8 个、第三电子层( $3s^2 3p^6 3d^6$ )14 个、第四电子层( $4s^2$ )2 个。电子排布式的书写顺序与电子填入轨道的顺序不同，电子填入轨道的顺序是按能级递增的顺序，例如铁原子的 8 个价电子是先进入能量较低的 4s 能级，后进入能量较高的 3d 能级。铁原子的电子排布式是按电子层顺序先写  $3d^6$ ，后写  $4s^2$ 。已知元素的核外电子排布式，便可推断元素的原子序数、核外电子总数、价电子构型以及它在周期表中的位置。元素所在的周期数等于电子排布式中最高的电子层数，元素所在的族数等于价电子数，例如氮元素处在第 2 周期、ⅤA 族，铁元素处在第 4 周期、Ⅷ族。

## 热化学方程式

表示化学反应与热效应关系的化学方程式。例如：



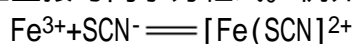
书写热化学方程式时应注意：热化学方程式的系数只表示各反应物和生成物的物质的量，不表示微粒数，必要时，系数可用分数表示。化学反应的热效应与反应物和生成物的状态有关(如上例)，书写时必须将每种物质的状态注在化学式后面。放出的热量用“+”表示，吸收的热量用“-”表示；热量的多少必须与化学方程式中所表示的物质的量对应。化学反应的热效应还与外界条件有关，应在方程式的等号上注明温度和压强。若不注明，则表示温度为 298K、压强为  $1.013 \times 10^5$  帕。

## 离子方程式

用实际参加反应的离子符号表示离子反应的式子。它不仅表示一定物质间的某个反应，而且表示了所有同一类型的离子反应。

书写离子方程式的基本步骤为：写出有关反应的化学方程式。可溶性的强电解质(强酸、强碱、可溶性盐)用离子符号表示，其它物质仍用分子式表示。微溶的强电解质应看其是否主要以自由离子形式存在，例如，石灰水中的  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  写离子符号，石灰乳中的  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  用分子式表示。删去两边未参加反应的离子。检查式子两边的各种原子的个数及电荷数是否相等。

各种类型的离子方程式可按下列方法书写：络合反应、盐类的水解反应应直接写离子方程式。例如，氯化铁溶液跟硫氰化钾溶液反应：

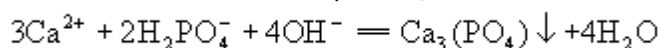


碳酸钠水解：

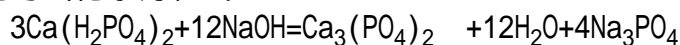


简单的复分解反应可直接写出离子方程式。注意：当反应物一边或生成物一边有多种物质需用分子式表示时，应当写全，不可遗漏。例如，氢氧化钡与硫酸铵溶液共热：

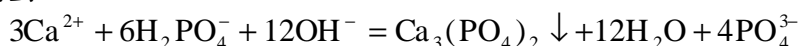
$\text{Ba}^{2+} + 2\text{OH}^- + 2\text{NH}_4^+ + \text{SO}_4^{2-} \xrightarrow{\Delta} \text{BaSO}_4 \downarrow + 2\text{NH}_3 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$  可溶性酸式盐跟强碱的反应比较复杂，应按基本步骤书写，否则易出错误。例如，磷酸二氢钙溶液与足量烧碱溶液反应，以下离子方程式是错误的：



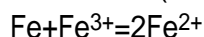
应先写出化学方程式：



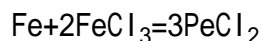
再删去  $\text{Na}^+$ ：



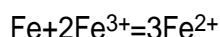
氧化还原类型的离子反应应按基本步骤书写，否则会出现多种错误。例如，铁跟氯化铁溶液反应，以下写法是错误的(两边电荷不等)：



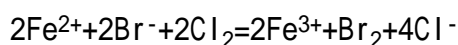
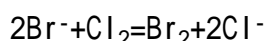
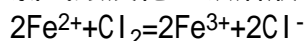
应先写出化学方程式：



再删去未反应的  $\text{Cl}^-$ ：

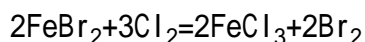


再如，氯气跟溴化亚铁溶液的反应，以下写法均不正确：



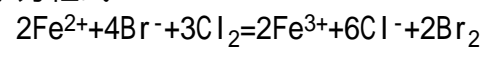
只有先写出化学方程式才能避免以上错误。正确书写方法为：

化学方程式：



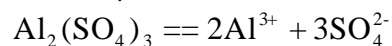


离子方程式：

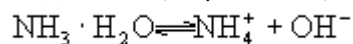


## 电离方程式

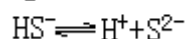
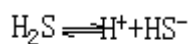
表示电解质离解成自由离子的式子。在水溶液中，强电解质完全电离，用等号表示，例如：



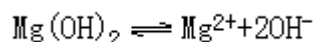
弱电解质部分电离，存在电离平衡，用可逆号表示，例如：



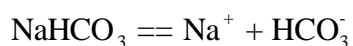
多元弱酸的电离是分步进行的，以第一步为主，例如：



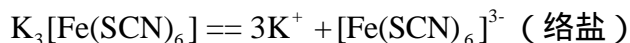
多元弱碱的电离也是分步进行的，一般简化为一步，例如：



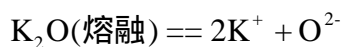
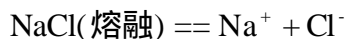
注意区别：强酸的酸式盐和弱酸的酸式盐表示方法不同，例如：



复盐和络盐表示方法不同，例如：



多数离子化合物在熔化时也能发生电离，表示方法如下：

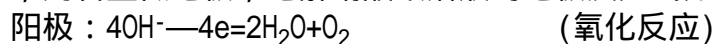


## 电极反应式

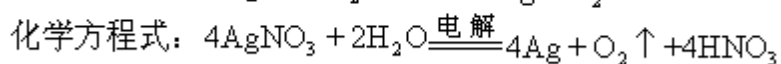
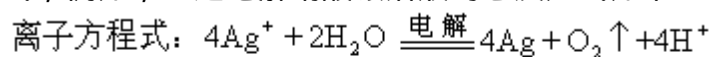
在电化学装置中，表示原子或离子在电极上得失电子，发生氧化或还原反应的式子。例如，Zn、Cu、稀  $\text{H}_2\text{SO}_4$  组成的原电池，电极反应式如下：



再如，用石墨做电极，电解硝酸银溶液的电极反应式如下：



注意：写电极反应式时，两个电极上得失电子总数必须相等。将两个电极反应式相加，可得到总反应式，例如，上述电解硝酸银溶液的总反应式如下：



## 摩 尔

国际单位制中的基本单位之一，用于表示物质的量，简称摩，符号为 mol。1971 年第十四届国际计量大会规定：“摩尔是一系统的物质的量，该系统中所包含的基本单元数与 0.012 千克碳—12 的原子数目相等。”“在使用摩尔时应予以指明基本单元，它可以是原子、分子、离子、电子及其它粒子，或是这些粒子的特定组合。”摩尔象一座桥梁把单个的、肉眼看不见的微粒跟大数量的微粒集体、可称量的物质之间联系起来。在化学计算中应用摩尔十分方便。

## 摩尔浓度

用 1 升溶液中所含溶质物质的量表示的浓度，单位是摩/升，计算公式：

$$\text{摩尔浓度} = \frac{\text{溶质的物质的量 (摩)}}{\text{溶液的体积 (升)}}$$

它是一种体积浓度，通过溶液的体积和摩尔浓度可直接求出溶质物质的量，在实际应用中极为方便。在计算时应特别注意体积的单位。它与质量百分比浓度的换算方法是：

$$\text{摩尔浓度} = \frac{1000 \times \rho \times A\%}{\text{摩尔质量}} (\text{摩 / 升})$$

公式中： $\rho$  为溶液的密度，单位是克/厘米<sup>3</sup>；A%为质量百分比浓度。由于溶液的体积随温度升高而变大，故摩尔浓度随温度升高而变小。现摩尔浓度已改称为物质的量浓度，用  $C_B$  表示。

## 摩尔质量

1 摩尔物质的质量叫做该物质的摩尔质量，单位是克/摩，用 M 表示。定义式为：

$$M = \frac{\text{物质的质量 (克)}}{\text{物质的量 (摩)}}$$

摩尔质量在数值上等于该物质的式量。此外，原子、离子等也有摩尔质量，定义式和上述公式类似，单位仍为克/摩，数值上分别为原子量、离子的式量等。

## 气体摩尔体积

在标准状况下，1 摩尔任何气体所占的体积都约为 22.4 升，这个体积叫做该气体的摩尔体积，单位是升/摩。使用时应注意：必须是标准状况。“任何气体”既包括纯净物又包括气体混合物。22.4 升是个近似数值。单位是升/摩而不是升。

## 阿佛加德罗常数

0.012Kg<sup>12</sup>C 含有的碳原子个数称为阿佛加德罗常数，用  $N_0$  表示，单位是个/摩。1 摩尔任何物质均含  $N_0$  个微粒。 $N_0$  的近似数值为  $6.02 \times 10^{23}$ ，可通过单分子膜法、电解法等测出。

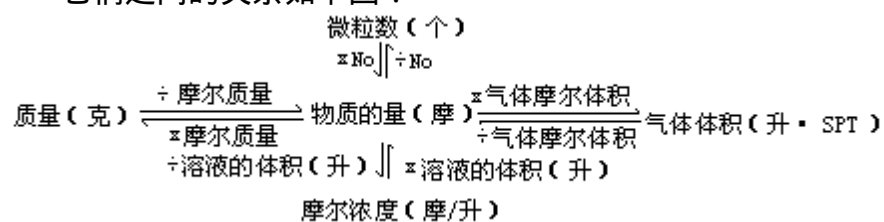


## 阿佛加德罗定律

同温同压下，相同体积的任何气体含有相同的分子数，称为阿佛加德罗定律。气体的体积是指所含分子占据的空间，通常条件下，气体分子间的平均距离约为分子直径的 10 倍，因此，当气体所含分子数确定后，气体的体积主要决定于分子间的平均距离而不是分子本身的大小。分子间的平均距离又决定于外界的温度和压强，当温度、压强相同时，任何气体分子间的平均距离几乎相等(气体分子间的作用微弱，可忽略)，故定律成立。该定律在有气体参加的化学反应、推断未知气体的分子式等方面有广泛的应用。

## 物质的量、质量、微粒数、气体体积、 摩尔浓度之间的相互关系

它们之间的关系如下图：



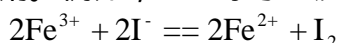
从上图中看出，物质的量处于中心，它是联系其它各物理量的桥梁。

## 氧化还原反应

一种物质被氧化，同时另一种物质被还原的化学反应。人们对它的认识分为三个阶段：有得失氧的反应 有化合价升降的反应 有电子转移(包括电子得失和共用电子对偏移)的反应。第一种认识仅限于有氧参加的反应；而氧化还原反应的本质是电子转移，表面特征是元素化合价有升降。物质失电子的反应叫做氧化反应，表现为所含元素化合价升高；物质得电子的反应叫做还原反应，表现为所含元素化合价降低。在有机化学中，将有机物得氧或失氢称为被氧化，得氢或失氧称做被还原。氧化还原反应的分类方法有：按元素间的作用分为不同物质中不同元素间的氧化还原、不同物质中同种元素不同价态间的氧化还原、同种物质中不同元素间的氧化还原、同种物质中同种元素的自身氧化还原等。按反应微粒可分为分子与分子、分子与原子、分子与离子、原子与原子、原子与离子、离子与离子等类的氧化还原。氧化还原反应与化学反应四种基本类型之间的关系是：置换反应一定是氧化还原反应，复分解反应一定不是氧化还原反应，化合或分解反应不一定是氧化还原反应。

## 氧化性与还原性

在反应中，物质具有得电子的性质叫做氧化性，该物质为氧化剂；物质具有失电子的性质叫做还原性，该物质为还原剂。物质氧化性或还原性的强弱由得失电子难易决定，与得失电子多少无关。比较不同物质氧化性或还原性的强弱，主要有以下方法：比较不同的氧化剂(或还原剂)跟同一还原剂(或氧化剂)反应时，所需条件及反应的剧烈程度。例如，钠与水常温下剧烈反应生成氢气，镁与冷水不易反应，加热时也能生成氢气，但较缓慢，说明钠比镁的还原性强。“强强制弱弱”原理，即较强的氧化剂和还原剂反应，生成较弱的氧化剂和还原剂。例如， $\text{Fe}^{3+}$ 可与  $\text{I}^-$  反应：



氧化剂 还原剂 还原产物 氧化产物

说明  $\text{Fe}^{3+}$  比  $\text{I}_2$  的氧化性强， $\text{I}^-$  比  $\text{Fe}^{2+}$  的还原性强。比较不同的氧化剂(或还原剂)将同一还原剂(或氧化剂)氧化(或还原)的程度。例如， $\text{Cl}_2$  可把 Fe 氧化为+3 价，S 只能把 Fe 氧化成+2 价，说明  $\text{Cl}_2$  比 S 的氧化性强；再如，HI 可把浓  $\text{H}_2\text{SO}_4$  还原成  $\text{H}_2\text{S}$ ，HBr 只能将浓  $\text{H}_2\text{SO}_4$  还原成  $\text{SO}_2$ ，说明 HI 比 HBr 的还原性强。注意，氧化性或还原性的强弱不能由自身的变化决定，例如，浓  $\text{HNO}_3$  做氧化剂时，氮一般由+5 变为+4 价，稀  $\text{HNO}_3$  做氧化剂时，氮一般由+5 变为+2 价，不能说稀  $\text{HNO}_3$  比浓  $\text{HNO}_3$  氧化性强。此外，物质的氧化性或还原性还与外界条件、浓度等因素有关，一般情况温度升高或浓度加大，物质的氧化性或还原性增强。

## 常见的氧化剂和还原剂

氧化剂主要有：活泼的非金属单质，例如， $F_2$ 、 $O_2$ 、 $Cl_2$ 、 $Br_2$ 、 $I_2$ 、 $N_2$ 、 $S$ 等；某些金属的阳离子，例如， $Fe^{3+}$ 、 $Ag^+$ 、 $Cu^{2+}$ 等；非氧化性酸，例如，盐酸、稀硫酸等，它们做氧化剂时+1价的氢得电子；氧化性酸，例如，浓 $H_2SO_4$ 、浓 $HNO_3$ 、稀 $HNO_3$ 、 $HClO$ 等，它们的氧化性比非氧化性酸强，做氧化剂时中心原子得电子；还有 $KMnO_4$ 、 $K_2Cr_2O_7$ 、 $KNO_3$ 、 $Na_2O_2$ 、 $MnO_2$ 等。还原剂主要有：金属单质；某些非金属单质，例如， $C$ 、 $H_2$ 等；负价的非金属，例如， $\overset{-2}{S}$ 、 $\overset{-1}{I}$ 等；+4价的硫—— $SO_2$ 、 $H_2SO_4$ 、亚硫酸盐；+2价的铁等。此外，有些物质既可做氧化剂又可做还原剂，例如， $Na_2O_2$ 、 $H_2O_2$ 、 $S$ 、 $Fe^{2+}$ 、 $SO_2$ 等。但它们以一种性质为主， $Na_2O_2$ 、 $H_2O_2$ 、 $S$ 主要做氧化剂； $Fe^{2+}$ 、 $SO_2$ 主要做还原剂。

## 氧化还原反应中电子转移方向与数目的判断及表示

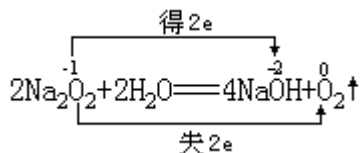
在氧化还原反应中，氧化剂得电子，表现为所含元素化合价降低；还原剂失电子，表现为所含元素化合价升高；得失电子数与化合价升降数相等。因此，电子转移的方向和数目可通过元素化合价的变化判断。在反应中，某元素电子得失总数等于该元素一个原子化合价升降数乘以方程式系数。主要表示方法有两种：表示同一元素反应前后电子转移情况时，分别将氧化剂与其产物、还原剂与其产物中相应的变价元素用直线连接起来，箭头从反应物指向产物，线上标出得失电子总数，称为“双线桥法”。表示氧化剂和还原剂之间不同元素的电子转移情况时，将氧化剂中降价元素与还原剂中升价元素用直线连接起来，箭头从还原剂指向氧化剂，线上标出电子转移总数，称为“单线桥法”。例如，铁与氯气的反应。双线桥法：



单线桥法：



通常情况用单线桥法表示比较简单，且易判断出氧化剂和还原剂(箭头所指为氧化剂)。在同种元素发生自身氧化还原反应时，用双线桥法表示比较明确，例如，过氧化钠跟水反应。



## 氧化还原方程式的配平

较复杂的氧化还原反应，通常用化合价升降法配平。现以  $\text{Cu}_2\text{S}$  与稀  $\text{HNO}_3$  的反应为例说明配平方法：

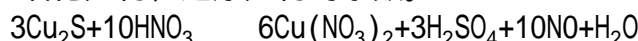
标出变价元素的化合价。 $\overset{+1}{\text{Cu}}_2\overset{-2}{\text{S}}+\overset{+5}{\text{HNO}}_3 \longrightarrow \overset{+2}{\text{Cu}}(\text{NO}_3)_2+\overset{+6}{\text{H}_2}\overset{+2}{\text{SO}}_4+\overset{+2}{\text{NO}}+\text{H}_2\text{O}$

计算氧化剂和还原剂的一个微粒化合价变化总数。

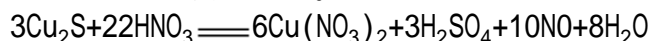
$$\text{Cu}_2\text{S} \left\{ \begin{array}{l} \text{Cu} : [(+2) - (+1) \times 2] = +2 \\ \text{S} : (+6) - (-2) = +8 \end{array} \right\} \text{共升 } 10 \text{ 价}$$

$$\text{HNO}_3 \text{ N} : (+2) - (+5) = -3 \text{ 共降 } 3 \text{ 价}$$

利用最小公倍数法使氧化剂和还原剂的化合价升降总数相等，配出氧化剂、还原剂、氧化产物、还原产物的系数。



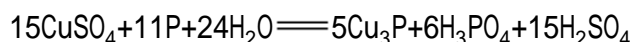
用观察法配平其它物质的系数。



注意：对于分解类型的氧化还原反应、同种元素的自身氧化还原反应等，应用产物计算化合价升降，先配出产物的系数，再配出氧化剂、还原剂及其它物质的系数。例如，下列的反应：



反应物中 P 的化合价变化不易计算，在产物中， $\text{Cu}_3\text{P}$ 、 $\text{H}_3\text{PO}_4$  分别为降 6 价、升 5 价，可确定  $\text{Cu}_3\text{P}$  和  $\text{H}_3\text{PO}_4$  的系数分别为 5、6，方程式可配平：



此外，氧化还原反应的配平方法还有：离子电子法、待定系数法等。例如，用待定系数法配平下列反应：



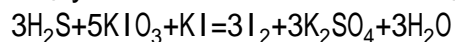
首先根据 H、S 原子个数分析， $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{K}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  的系数应相等。设  $\text{H}_2\text{S}$  的系数为 x， $\text{KIO}_3$  的系数为 y，则有：



再根据氧原子个数列出以下方程式：

$$3y = 4x + x$$

它的最简整数解为：x=3，y=5。然后代入化学方程式，即可配平：



## 胶 体

分散质直径在  $10^{-9} \sim 10^{-7}\text{m}$  之间的分散系。由于胶体分散质的微粒质量小，且带有同种电荷，一般情况下不会聚集成较大的颗粒而发生沉降或分层现象，因此胶体是较稳定的分散系。按分散质的不同，可把胶体分为粒子胶体(如氢氧化铁胶体、硅酸胶体)和分子胶体(如淀粉胶体、蛋白质胶体)；按分散剂的状态，又可把胶体分为气溶胶(如烟、雾)、液溶胶(如氢氧化铁胶体、碘化银胶体)、固溶胶(如有色玻璃、烟水晶)。胶体在外观上透明，均一，和真溶液相似，可通过丁达尔现象鉴别。制备胶体的方法主要有化学凝聚法和物理分散法。除去胶体中的杂质分子或离子用渗析法。胶体的知识对工农业生产、科研、动植物生理现象的解释等方面意义十分重要。胶体化学是化学的一个分支。参看胶体的性质。



## 胶体的性质

由于胶体中分散质微粒的直径在  $10^{-9} \sim 10^{-7}\text{m}$  之间，且带有同种电荷，故表现出以下性质：

光学性质——丁达尔现象 用一束光照射胶体，由于胶粒对光的散射作用，从垂直入射光线的方向可看到一条光亮的通路。

热力学性质——布朗运动 胶粒受到许多分散剂分子的作用，由于合力不为零，在显微镜下能看到胶粒作不停的、无规则的运动。

电学性质——电泳 由于胶粒带有正电荷或负电荷，在外加电场的作用下，胶粒可向阴极或阳极做定向运动。

胶体的凝聚 在一定条件下，使胶粒聚集成较大颗粒而沉降下来的现象叫做胶体的凝聚。主要方法有：a. 加热；b. 加入某些电解质；c. 两种胶体的胶粒带异号电荷，混合后可共同凝聚。此外，胶体分散质微粒可透过滤纸而不能透过半透膜。

## 化学反应速度

化学反应快慢的量度。一般用单位时间内反应物浓度的减小或生成物浓度的增加表示，单位是摩/升·秒、摩/升·分等。用不同物质浓度的变化表示同一化学反应的速度时，不论是浓度的增加还是减少，均取正值，且数值上与方程式系数成正比。反应速度的快慢，主要由反应物的性质决定，还受温度、压强、反应物浓度、催化剂等影响。将某段时间内反应速度的平均值称为平均速度，某时刻的速度称为即时速度。对于可逆反应，单位时间内，反应物浓度的减少或生成物浓度的增加叫正反应速度，生成物浓度的减少或反应物浓度的增加叫逆反应速度，正、逆反应速度的综合结果叫总反应速度。

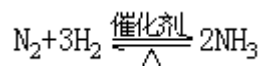
## 外界条件对化学反应速度的影响

主要因素有：  
温度 其它条件不变时，对于绝大多数反应，升高温度，反应速度加快。一般情况，每升高 10℃，速度增大 2~4 倍。  
压强 其它条件不变时，对于有气体参加的反应，增大压强，反应速度加快。  
浓度 其它条件不变时，增大反应物的浓度，化学反应速度加快。注意，浓度因素仅适用于气体或溶液状态的反应物，不适用于固体反应物。  
催化剂 其它条件不变时，使用催化剂，可加快化学反应速

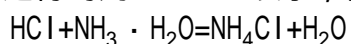
度。  
化学反应速度，严格地讲，化学反应速度应称做化学反应速率。度。  
注意，催化剂可分为正催化剂——能加快其它物质的反应速度、负催化剂(又称阻化剂)——能减慢其它物质的反应速度，通常所说的催化剂一般为正催化剂。此外，光、超声波、激光、放射线、电磁波、反应物颗粒的大小、扩散速度、溶剂等也影响某些化学反应的速度。对于可逆反应来说，外界条件的改变同时影响正反应速度和逆反应速度，对于未达平衡的可逆反应，正、逆反应速度的加快可缩短达到平衡的时间，相当于加快了总反应的速度。

## 可逆反应

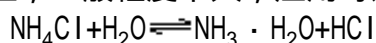
在同一个条件下，既能向正反应方向又能向逆反应方向进行的化学反应。绝大多数化学反应均有一定的可逆性，只有少数反应只朝一个方向进行。在书写化学方程式时，对于典型的可逆反应用“ $\rightleftharpoons$ ”表示，例如，合成氨的反应：



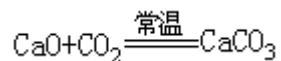
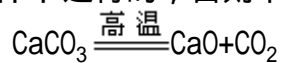
对于基本上朝正反应方向进行的用“ $=$ ”表示，例如，盐酸跟氨水的反应：



注意：氯化铵跟水的反应，一般程度不大，应用可逆号：



可逆反应必须是在同一条件下进行的，否则不属于可逆反应。例如：



可逆反应是建立化学平衡的前提。

## 化学平衡状态

在一定条件下的可逆反应里，正反应和逆反应的速度相等，反应混合物中各组成成分的百分含量保持不变的状态。对化学平衡状态的理解，可用“逆”、“等”、“定”、“同”、“变”等5个字加以概括。逆：指化学平衡的研究对象是可逆反应。等：指正、逆反应速度相等，表明化学平衡是一种动态平衡，反应并没有停止。定：指反应混合物中各组成成分的百分含量一定，它是正、逆反应速度相等的必然结果。同：指在相同条件下，可逆反应不论从正反应开始进行还是从逆反应开始进行，可达同一平衡状态。变：指外界条件改变时，平衡状态可能发生改变，即平衡发生移动。

## 化学平衡与化学反应速度的内在联系

化学平衡是动态平衡，可逆反应是否处于平衡状态，决定于某时刻正反应和逆反应的即时速度，二者相等时为平衡状态，二者不等时为非平衡状态。当正反应的即时速度比逆反应大时，反应物浓度逐渐减少，生成物浓度逐渐增加，使正反应速度减小，逆反应速度增大，直至二者相等达平衡状态，该过程叫平衡正向移动。同理，当逆反应即时速度比正反应大时，平衡逆向移动。对于处在平衡状态的可逆反应，条件改变后，直接影响正反应和逆反应的即时速度。二者变化率不同，即正、逆反应速度不等，则引起平衡移动；二者变化率相同，正、逆反应速度仍然相等，平衡不移动。

## 勒沙特列原理

又称化学平衡移动原理，由法国化学家勒沙特列提出。原理的内容是：如果改变影响化学平衡的一个条件(如浓度、温度、压强等)，平衡就向能够减弱这种改变的方向移动。例如，在合成氨反应中

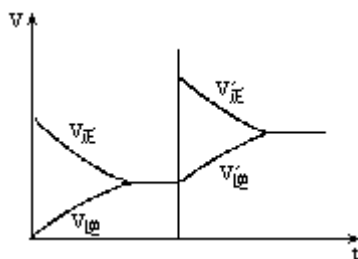


其它条件不变时，若减小氨气的浓度，则平衡向合成氨的方向移动，使氨气的浓度有所增大，对氨气浓度的减小起减弱作用；若升高温度，平衡向吸热方向移动，以减弱温度的升高；若增大压强，平衡向气体体积缩小的方向移动，使反应混合物的总物质的量减少，以减弱压强的增大。在化工生产中，利用这一原理，可选择反应的适宜条件，达到提高产率增加经济效益的目的。

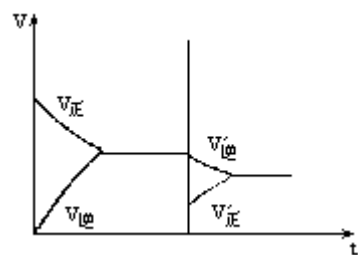
## 浓度对化学平衡移动的影响

可逆反应达平衡时，正、逆反应速度相等。其它条件不变，增加某种反应物的浓度时，正反应的即时速度增大，逆反应的即时速度不变，使得正反应速度大于逆反应速度，平衡正向移动。随之，正反应的即时速度逐渐减小，逆反应的即时速度逐渐增大，当二者相等时，达到新的平衡状态。同理，其它条件不变时，减小某反应物的浓度平衡逆向移动，增大某生成物的浓度平衡逆向移动，减小某生成物的浓度平衡正向移动。浓度对化学平衡移动的影响可分别用以下曲线表示：

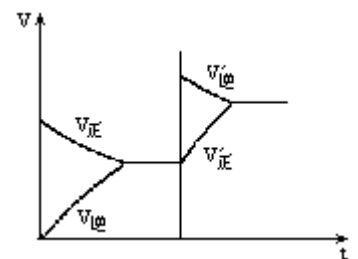
增大反应物浓度



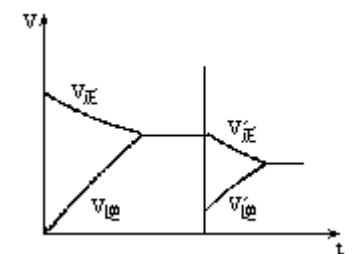
减小反应物浓度



增大生成物浓度



减小生成物浓度

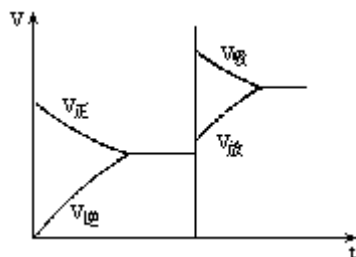




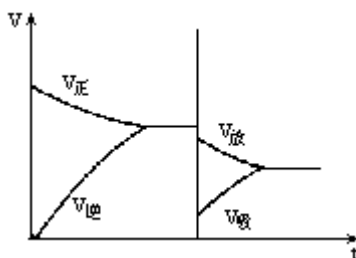
## 温度对化学平衡移动的影响

可逆反应达平衡时，正、逆反应速度相等。其它条件不变，升高温度时，正、逆反应的即时速度均增大，但吸热方向速度增大的倍数多，使平衡朝吸热的方向移动。随之，吸热方向的速度逐渐减小，放热方向的速度逐渐增大，二者相等时，达到新的平衡。其它条件不变，降温时，正、逆反应的即时速度均减小，但吸热方向速度减小得更多，使平衡朝放热方向移动。温度对化学平衡移动的影响可分别用下列曲线表示：

升温



降温

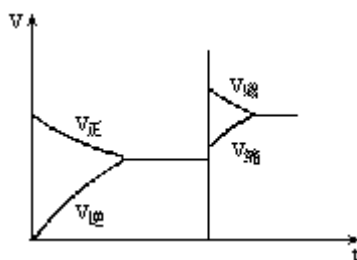


从曲线可以看出：温度对吸热方向的速度影响较大。

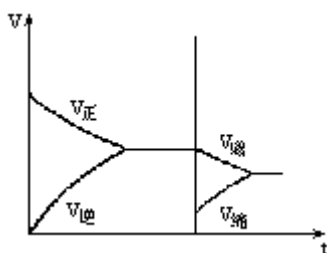
## 压强对化学平衡移动的影响

可逆反应达平衡时，正、逆反应速度相等。其它条件不变，对于有气体参加或生成的反应，压强增大，正、逆反应的即时速度均增大，但缩小体积方向的速度增大的倍数多，使平衡向缩小体积的方向移动。随之，缩小体积方向的速度逐渐减小，增大体积方向的速度逐渐增大，二者相等时，达到新的平衡。其它条件不变时，压强降低时，正、逆反应的即时速度都减小，但缩小体积方向的速度减小得更多，使平衡向增大体积的方向移动。压强对化学平衡移动的影响可分别用下列曲线表示：

升压



降压



由曲线可以看出：压强对缩小体积方向的速度影响较大。

## 强电解质

在水溶液中全部电离成自由离子的化合物。它们的电离是不可逆的，不存在电离平衡。离子化合物(如强碱、大多数盐)和多数具有强极性键的共价化合物(如强酸)属于强电解质。注意：大多数复盐、络盐、络碱、络酸属于强电解质。许多难溶的盐，溶于水的部分全部电离，仍属于强电解质。如  $\text{AgCl}$ 、 $\text{BaSO}_4$  等。

## 弱电解质

在水溶液中部分电离成自由离子的电解质。它们的电离是可逆的，存在电离平衡。某些具有极性键的共价化合物，例如：水、弱酸、弱碱和少数盐类属于弱电解质。注意：难溶的弱酸、弱碱，溶于水的部分仍存在电离平衡，属于弱电解质。少数可溶性盐，例如： $\text{HgCl}_2$ 、 $\text{Pb}(\text{AC})_2$ 等，不是离子化合物，属于弱电解质。

## 电离平衡

多数弱电解质为含有较弱极性键的共价化合物，溶解后，受到水分子的作用，只有部分分子发生电离；同时，电离出的阴阳离子在水中碰撞时，又能重新结合成分子。因此，弱电解质的电离是可逆的，在一定条件下，分子的电离和离子结合成分子的速度相等，称作电离平衡。在一般浓度下，弱电解质主要以分子形式存在于溶液中。注意，难溶的弱电解质溶于水的部分存在电离平衡，难溶的强电解质溶于水的部分全部电离，不存在电离平衡。影响电离平衡的因素除了溶质、溶剂的性质外，还有温度、浓度等外界条件。升温或加水稀释都能使电离平衡向正方向移动。

## 电离度

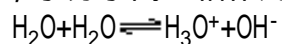
弱电解质在溶液中达电离平衡时，已电离的电解质分子数占原有电解质分子数的百分数称为该电解质的电离度，用  $\alpha$  表示：

$$\alpha = \frac{\text{已电离的电解质分子数}}{\text{溶液中原有电解质的分子数}} \times 100\%$$

将公式中分子和分母中的“分子数”换成“物质的量”或“摩尔浓度”计算时更为方便。电离度的大小由电解质本身的性质及外界条件决定。对于同一种电解质，温度越高、溶液越稀电离度越大。在温度和浓度相同的条件下，可根据电离度的大小比较不同弱电解质的相对强弱——电离度大的电解质相对较强。电离度常用于弱酸、弱碱的 pH 值计算。

## 水的电离和水的离子积

水是一种极弱的电解质，水分子间互相作用，发生微弱的电离，



可简写为： $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OH}^-$

实验测得，在 25 时，纯水中：

$$[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 1 \times 10^{-7} \text{ 摩/升}$$

水的电离是吸热的，温度升高，电离平衡正向移动， $\text{H}^+$ 和  $\text{OH}^-$ 浓度同时增大。在酸性或碱性溶液中，水的电离平衡被破坏，使得  $\text{H}^+$ 和  $\text{OH}^-$ 浓度不等。实验证明，温度一定时，不论在纯水还是稀溶液中， $\text{H}^+$ 浓度和  $\text{OH}^-$ 浓度的乘积是一个定值，该数值称作水的离子积常数，简称水的离子积，用  $K_w$ 表示：

$$K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-]$$

25 时， $K_w$ 为  $1 \times 10^{-14}$ 。温度升高， $K_w$ 增大。注意， $K_w$ 不适用于浓溶液。

## 水溶液的 pH 值

用于表示水溶液酸碱度的数值。定义式为：

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$$

pH 值越小，溶液酸性越强；pH 值越大，溶液碱性越强。25℃ 时，pH 值一般在 0 ~ 14 之间，pH 值等于 7 时，溶液为中性。当  $\text{H}^+$  的浓度大于 1 摩/升时，pH 值为负数，一般不用 pH 值表示溶液的酸碱度，而直接用  $\text{H}^+$  的浓度表示。此外， $\text{OH}^-$  浓度的负对数，称为水的 pOH 值，有以下关系：

$$\text{pOH} = -\lg[\text{OH}^-]$$

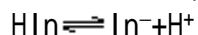
$$25\text{℃ 时：pH} + \text{pOH} = 14$$

pH 值的测定和控制对生产、生活、科研有重要意义。粗略测定溶液的 pH 值用 pH 值试纸，精确测定溶液的 pH 值用 pH 计。



## 酸碱指示剂

在 pH 值不同范围内显示不同颜色的物质。用于指示中和滴定的终点和测定溶液的 pH 值范围等。它们一般为有机弱酸或有机弱碱。常用指示剂有酚酞、石蕊、甲基橙等。指示剂变色原理如下(HIn 表示有机弱酸)：



HIn 和  $\text{In}^-$  颜色不同，当 HIn 的浓度大于  $\text{In}^-$  的浓度 10 倍时，溶液显 HIn 的颜色，反之显  $\text{In}^-$  的颜色，它们的浓度之比在 0.1 ~ 10 之间时，显二者的混合色。当溶液的 pH 值改变时，引起上述电离平衡的移动，可显示出不同颜色。指示剂显混合色的 pH 值范围，称为该种指示剂的变色范围。酚酞、石蕊、甲基橙在不同 pH 值范围内显示的颜色如下表：

	pH 值及显色的颜色		
酚酞	0 ~ 8 无色	8 ~ 10 浅红色	10 ~ 14 红色
石蕊	0 ~ 5 红色	5 ~ 8 紫色	8 ~ 14 蓝色
甲基橙	0 ~ 3.1 红色	3.1 ~ 4.4 橙色	4.4 ~ 14 黄色

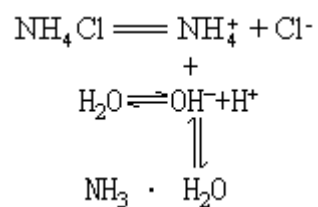
中和滴定时，指示剂用量太多，不但颜色变化不明显，而且可能引起误差，一般在 50ml 溶液中加入 2 ~ 3 滴即可。

## 盐类的水解

在溶液中，盐电离出的离子跟水电离出的  $H^+$  或  $OH^-$  生成弱电解质的反应。盐类水解的必要条件是：必须能电离出弱酸根离子或弱碱阳离子。因此，强酸跟弱碱所生成的盐、强碱跟弱酸所生成的盐、弱碱跟弱酸所生成的盐都能水解，而强酸跟强碱所生成的盐不水解。酸越弱，越难电离，对应的酸根离子越易与  $H^+$  结合成分子，因此酸根的水解越强烈；同理，碱越弱，对应的弱碱阳离子水解越强烈。综上所述，盐类水解的规律可概括为：遇“弱”水解，越“弱”水解越强烈。此外，弱酸跟弱碱所生成的盐，阴、阳离子均水解，二者互相促进，水解比较强烈。

## 强酸弱碱盐的水解

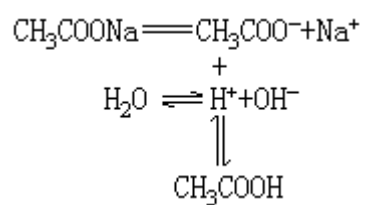
强酸弱碱盐溶于水电离出弱碱阳离子，它跟水电离出的  $\text{OH}^-$  结合成难电离的弱碱，破坏了水的电离平衡。随着  $\text{OH}^-$  浓度减小，水的电离平衡正向移动，从而使溶液中的  $\text{H}^+$  浓度大于  $\text{OH}^-$  浓度，溶液显酸性。水解过程表示如下(以  $\text{NH}_4\text{Cl}$  为例)：



(参看盐类水解反应的表示方法)

## 弱酸强碱盐的水解

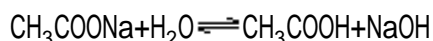
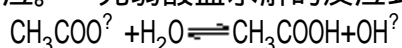
弱酸强碱盐溶于水电离出弱酸根离子，它跟水电离出的  $H^+$  结合成难电离的弱酸分子(或酸式酸根离子)，破坏了水的电离平衡。随着  $H^+$  浓度减小，水的电离平衡正向移动，从而使溶液中的  $OH^-$  浓度大于  $H^+$  浓度，溶液显碱性。水解过程表示如下(以  $CH_3COONa$  为例)：



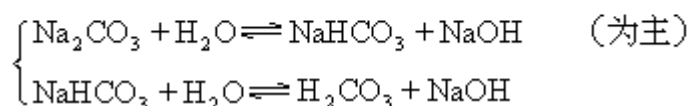
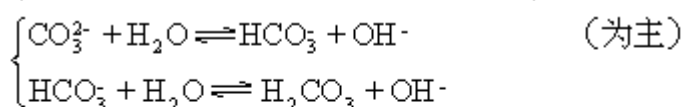
(参看盐类水解反应的表示方法)

## 盐类水解反应的表示方法

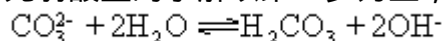
通常条件下，大多数盐类的水解反应是可逆的，存在着水解平衡；且水解的程度不大，生成弱酸或弱碱的浓度很小，不会形成沉淀或气体。因此，在书写反应式时，应用“ $\rightleftharpoons$ ”号表示，不应注“ $\downarrow$ ”或“ $\uparrow$ ”符号。因为盐类水解的实质是它电离出的离子跟水分子之间的反应，所以一般用离子方程式表示，根据离子方程式可写出相应的化学方程式。强碱弱酸盐实质是弱酸根离子与水分子的反应。一元弱酸盐水解的反应式如下(以醋酸钠为例)：



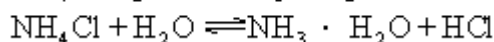
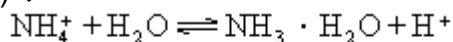
多元弱酸盐的水解是分步进行的，弱酸根离子每步结合一个 $\text{H}^+$ ，先生成酸式酸根，酸式酸根再水解形成酸分子。例如，碳酸钠水解：



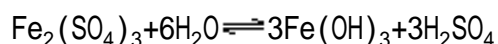
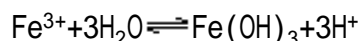
注意：多元弱酸盐的水解以第一步为主，下列表示方法是错误的：



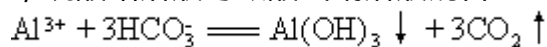
强酸弱碱盐实质是弱碱阳离子与水分子的反应。元弱碱盐水解的反应式如下(以氯化铵为例)：



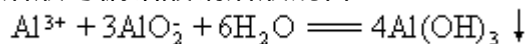
多元弱碱盐的水解也是分步进行的，一般简化为一步进行，例如，硫酸铁的水解：



此外，有些弱酸盐跟弱碱盐两种溶液混合，水解互相促进，反应朝一个方向进行，出现沉淀和气体，反应式应用“ $\rightleftharpoons$ ”号表示，且标出“ $\downarrow$ ”和“ $\uparrow$ ”符号。例如，硫酸铝溶液与碳酸氢钠溶液混合：



再如，氯化铝溶液与偏铝酸钠溶液混合：



## 盐类水解平衡的移动及其应用

盐类水解程度的大小主要由本身性质决定，同时受外界条件影响：  
温度 盐类的水解反应可看做是中和反应的逆反应，因此是吸热的，升温可促进水解。  
浓度 加水稀释可促进水解。  
溶液的 pH 值 盐类水解后，溶液多数显酸性或碱性，因此，加入酸、碱等可抑制或促进水解。  
在溶液中，弱酸根离子和弱碱阳离子同时水解时，可互相促进。

盐类的水解对生产、生活、科研等有重要意义。例如：利用硫酸铝和碳酸氢钠的双水解，可生成二氧化碳，用做泡沫灭火剂；利用碳酸钠水解显碱性，用于洗涤油污(升温促进水解，热的纯碱溶液去污力更强)；利用氯化铁溶液滴入沸水中制备氢氧化铁胶体……。盐类水解有时会带来危害，应加以抑制或防止。例如，草木灰(主要成分  $K_2CO_3$ )与铵

盐不能混合使用，否则， $CO_3^{2-}$ 和 $NH_4^+$ 的水解互相促进，生成氨气，使氮肥失效。再如，某些强酸弱碱盐溶于水时，由于水解使溶液浑浊，配制溶液时，应先将固体盐溶于少量相应的酸抑制水解，再加水稀释至所需浓度。

## 原电池

将化学能转变成电能的装置。组成原电池的基本条件是：将两种活泼性不同的金属(或石墨)用导线连接后插入电解质溶液中。电流的产生是由于氧化反应和还原反应分别在两个电极上进行的结果。原电池中，较活泼的金属做负极(又称阳极)，较不活泼的金属做正极(又称阴极)。负极本身易失电子发生氧化反应，电子沿导线流向正极，正极上一般为电解质溶液中的阳离子得电子发生还原反应。在原电池中，外电路为电子导电，电解质溶液中为离子导电。利用原电池的原理，可制作干电池、蓄电池、高能电池等。

## 金属的腐蚀

金属或合金跟周围接触到的气体或液体发生化学反应而损耗的过程。分为化学腐蚀和电化腐蚀两类。金属腐蚀的本质都是金属原子失电子被氧化的过程。

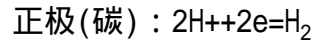
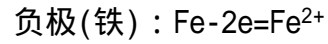


## 化学腐蚀

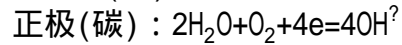
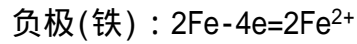
金属与接触到的物质直接发生化学反应引起的腐蚀。这类腐蚀不普遍、只有在特殊条件下发生，例如，化工厂里的氯气与铁反应生成氯化铁。化学腐蚀原理比较简单，属于一般的氧化还原反应。

## 电化腐蚀

不纯的金属或合金，接触到电解质溶液发生原电池反应引起的腐蚀。比较活泼的金属做原电池的负极，失电子被氧化。电化腐蚀比化学腐蚀普遍得多，腐蚀的速度一般也快得多。例如，钢铁在潮湿的环境中生锈，发生的就是电化腐蚀。在酸性较强的条件下钢铁发生析氢腐蚀，电极反应为：



在弱酸性、中性或弱碱性条件下钢铁发生吸氧腐蚀，电极反应为



吸氧腐蚀比析氢腐蚀更为普遍。

## 金属腐蚀的防护

主要方法有：改变金属的内部结构。例如，把铬、镍加入普通钢中制成不锈钢。在金属表面覆盖保护层。例如，在金属表面涂漆、电镀或用化学方法形成致密耐腐蚀的氧化膜等。电化学保护法。因为金属单质不能得电子，只要把被保护的金属做电化学装置发生还原反应的一极——阴极，就能使引起金属电化腐蚀的原电池反应消除。具体方法有：a.外加电流的阴极保护法。利用电解装置，使被保护的金属与电源负极相连，另外用惰性电极做阳极，只要外加电压足够强，就可使被保护的金属不被腐蚀。b.牺牲阳极的阴极保护法。利用原电池装置，使被保护的金属与另一种更易失电子的金属组成新的原电池。发生原电池反应时，原金属做正极(即阴极)，被保护，被腐蚀的是外加活泼金属——负极(即阳极)。此外，还有加缓蚀剂等方法，减缓或防止金属被腐蚀。

## 电 解

使直流电通过电解质溶液(或熔融状态的离子化合物)而在阳阴两极引起氧化还原反应的过程。把电能转变为化学能的装置称为电解池(或电解槽)。电解池中,与电源正极相连的一极称为阳极,该极发生氧化反应;与电源负极相连的一极称为阴极,该极发生还原反应。电解原理在电镀、氯碱工业(电解食盐水制氯气和烧碱)、电解冶炼(制钠、镁、铝等活泼金属)、电解精炼铜、铝的阳极氧化等方面有广泛的用途。

## 电 镀

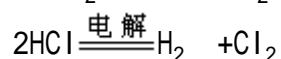
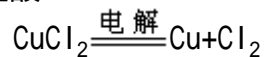
利用电解原理在某些金属表面上镀上一薄层其它金属或合金的过程。电镀时，镀层金属做阳极，被氧化成阳离子进入电镀液；待镀的金属制品做阴极，镀层金属的阳离子在金属表面被还原形成镀层。为排除其它阳离子的干扰，且使镀层均匀、牢固，需用含镀层金属阳离子的溶液做电镀液，以保持镀层金属阳离子的浓度不变。电镀能增强金属的抗腐蚀性(镀层金属多采用耐腐蚀的金属)、增加硬度和表面美观。

## 惰性电极和非惰性电极

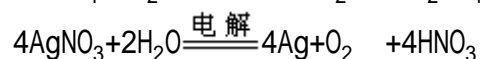
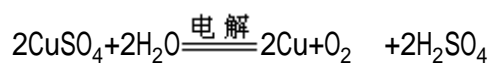
在电解池中，电极本身不参与反应的电极称为惰性电极，反之称为非惰性电极。石墨、铂等电极为惰性电极，其它电极一般为非惰性电极。在电解池中，用金属或石墨做阴极时，电极本身均不可能被还原，在阴极上发生还原反应的是电解质溶液中的阳离子。阳极为惰性电极时，电解质溶液中的阴离子在阳极上被氧化；阳极为非惰性电极时，电极本身被氧化。此外，电极本身是否参与反应与反应条件有关，例如，石墨电极在常温下为惰性电极，而在高温下(工业制铝)做阳极时则被氧化。

## 用惰性电极电解的类型

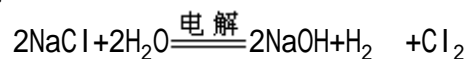
电解质溶液只含一种溶质时，可分为电解水、溶质被电解和混合电解三类。 电解水类型：水电离出的  $H^+$  和  $OH^-$  比溶质电离出的阳离子和阴离子更易放电。包括电解含氧酸及氢氟酸、强碱、及它们反应生成的盐。 溶质被电解类型：溶质电离出的阳离子和阴离子比水电离出的  $H^+$  和  $OH^-$  更易放电。例如，电解氯化铜溶液或盐酸：



混合电解类型：溶质和水均参与反应。第一种情况，溶质电离出的阳离子比  $H^+$  易得电子而阴离子比  $OH^-$  难失电子。例如，电解硫酸铜溶液或硝酸银溶液：

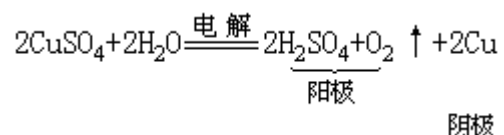


第二种情况，溶质电离出的阴离子比  $OH^-$  易失电子而阳离子比  $H^+$  难得电子。例如，电解食盐水：

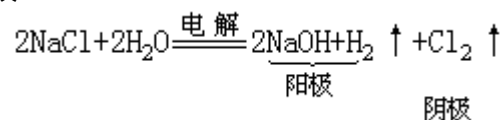


## 用惰性电极电解时溶液的 pH 值变化

与电解过程中  $H^+$  或  $OH^-$  放电及溶液浓度的变化有关。 电解水类型：溶液的浓度增大。原溶液为酸时，随着酸的浓度增大 pH 值变小；原溶液为碱时，随着碱的浓度增大 pH 值变大；原溶液为中性时 pH 值不变。 溶质被电解类型：溶液浓度变小。电解盐酸等酸溶液时，随着酸的浓度变小 pH 值增大；电解氯化铜等溶液时，pH 值变化不显著。 混合电解类型：第一种情况，阳极上  $OH^-$  失电子产生  $O_2$ ，阳极附近水的电离平衡被破坏， $OH^-$  浓度减小， $H^+$  浓度增大，阳极附近 pH 值减小，溶液的 pH 值也随之减小。例如，电解硫酸铜溶液：



第二种情况，阴极上  $H^+$  得电子生成  $H_2$ ，阴极附近水的电离平衡被破坏， $H^+$  浓度减小， $OH^-$  浓度增大，阴极附近 pH 值变大，溶液的 pH 值也随之增大。例如，电解氯化钠溶液



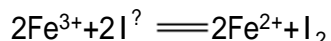


## 离子反应

有离子参加的化学反应。常见离子反应多在水溶液中进行。根据反应原理，离子反应可分为复分解、盐类水解、氧化还原、络合 4 个类型；也可根据参加反应的微粒，分为离子间、离子与分子间、离子与原子间的反应等。极浓的电解质跟固态物质反应时，应根据反应的本质来确定是否属于离子反应。例如，浓硫酸跟铜反应时，表现的是硫酸分子的氧化性，故不属于离子反应；浓硫酸跟固体亚硫酸钠反应时，实际上是氢离子跟亚硫酸根离子间的作用，属于离子反应。此外，离子化合物在熔融状态也能发生离子反应。

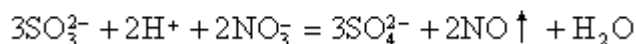
## 离子反应发生的条件

应根据复分解、氧化还原、盐类的水解、络合等反应规律进行判断。各类反应的发生条件如下：复分解反应：有沉淀、气体或弱电解质生成。一般地说，反应后自由离子由多变少。氧化还原反应：较强的氧化剂跟较强的还原剂反应，生成较弱的氧化剂和较弱的还原剂。例如，氯化铁溶液跟碘化钾溶液混合：



$\text{Fe}^{3+}$ 比 $\text{I}_2$ 氧化性强， $\text{I}^{-}$ 比 $\text{Fe}^{2+}$ 还原性强，故反应可以发生。此外，该类反应能否进行，还与离子浓度、反应条件等有关。盐类的水解：遵循“遇弱水解”的规律，即盐电离出的弱酸根阴离子或弱碱阳离子能跟水电离出的 $\text{H}^{+}$ 或 $\text{OH}^{-}$ 结合成弱电解质。络合反应：能生成较稳定的络离子或络合物。

此外，有些反应情况复杂，例如，亚硫酸钠溶液与稀硝酸混合，同时发生复分解和氧化还原反应：

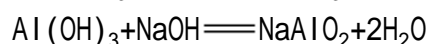
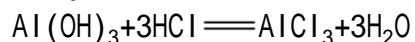


## 环境保护

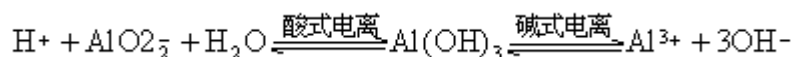
《中华人民共和国环境保护法》明确指出，环境“是指影响人类生存和发展的各种天然的和经过人工改造的自然因素的总体，包括大气、水、海洋、土地、矿藏、森林、草原、野生动物、自然遗迹、人文遗迹、自然保护区、风景名胜区、城市和乡村等”。环境污染主要包括大气污染、水污染、土壤污染、食品污染等，此外还有固体废弃物、放射性、噪声等污染。环境污染的原因有自然因素(如地震、风暴、火山活动等)和人为因素(如人类生产、生活中产生的污染物进入环境)，通常所说的环境污染多指人为因素造成的。环境保护是指协调人类和环境的关系，保护、改善和创建环境。环境保护的主要措施有：防治工业污染，工业“三废”必须净化处理才能排放；农业生产中要控制农药的使用和合理施用化肥；合理地开发和利用自然资源；控制人口的增长；建立自然保护区；城市环境的综合治理等。环境问题是全球性的重大问题，环境保护是造福人类的伟大事业。

## 两性氢氧化物

既能跟酸反应,又能跟碱反应,分别生成盐和水的水的氢氧化物,例如 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 和 $\text{Zn}(\text{OH})_2$ 。两性金属氢氧化物都难溶于水。 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 溶于盐酸生成铝盐,溶于 $\text{NaOH}$ 溶液生成偏铝酸盐。



氢氧化物的两性是由它既能进行酸式电离,又能进行碱式电离决定的,例如 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 在水中:

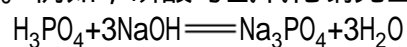


未溶的 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 与两种电离产生的离子建立动态平衡。当加入盐酸时,平衡向右移动, $\text{Al}(\text{OH})_3$ 继续溶解,发生碱式电离产生 $\text{OH}^-$ ,与盐酸中和生成 $\text{AlCl}_3$ 和 $\text{H}_2\text{O}$ ;当加入 $\text{NaOH}$ 溶液时,平衡向左移动, $\text{Al}(\text{OH})_3$ 也继续溶解,发生酸式电离产生 $\text{H}^+$ 与 $\text{NaOH}$ 中和生成 $\text{NaAlO}_2$ 和 $\text{H}_2\text{O}$ 。 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 是典型的两性氢氧化物,它的酸性和碱性都很弱。

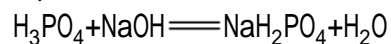
两性氢氧化物表现酸性时,可写成酸的形式,例如 $\text{H}_3\text{AlO}_3$ 、 $\text{H}_2\text{ZnO}_2$ 。一些非金属氢氧化物以酸性为主,一般写酸的形式,例如亚砷酸( $\text{H}_3\text{AsO}_3$ )。

## 正 盐

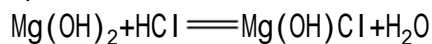
金属阳离子(或铵离子)和酸根阴离子组成的化合物。正盐是酸跟碱完全反应(中和完全)的产物。例如,磷酸与氢氧化钠完全反应:



若多元酸未被碱完全中和,则生成酸式盐:



多元碱未被酸完全中和,则生成碱式盐:

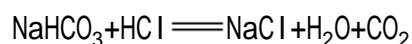
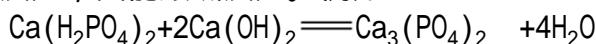


由此可见,多元酸(或碱)与碱(或酸)反应生成的盐,究竟是正盐、酸式盐,还是碱式盐,取决于反应物的物质的量之间的比值。参看酸式盐、碱式盐。

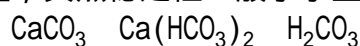
## 酸式盐

酸中的氢离子部分被碱中和的产物，它是由金属阳离子(或 $\text{NH}_4^+$ )和酸式酸根离子组成，例如 $\text{KHSO}_4$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ 、 $\text{NH}_4\text{HCO}_3$

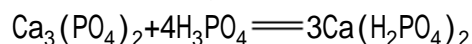
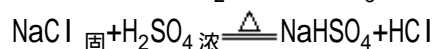
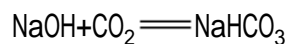
等。大多数酸式盐的溶解度大于正盐，例如 $\text{Ba}(\text{HCO}_3)_2$ 、 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 在水中易溶而 $\text{BaCO}_3$ 、 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 难溶。 $\text{NaHCO}_3$ 在水中的溶解度小于 $\text{CO}_2$ ，往饱和的 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 溶液中通入足量 $\text{CO}_2$ ，便可析出 $\text{NaHCO}_3$ 晶体。酸式盐的水溶液不一定显酸性。 $\text{KHSO}_4$ 在水中完全电离产生 $\text{H}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ ，溶液显酸性，相当于一元的强酸； $\text{NaHCO}_3$ 溶液中， $\text{HCO}_3^-$ 离子既能电离产生 $\text{H}^+$ ，又能水解产生 $\text{OH}^-$ ，由于水解趋势大于电离趋势，溶液呈弱碱性； $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ 溶液， $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ 的电离趋势大于其水解趋势，溶液呈弱酸性。弱酸的酸式盐具有两性，既能跟酸反应，又能跟碱反应。例如：



含氧酸的酸式盐，其热稳定性一般小于正盐，大于相应的酸，例如：

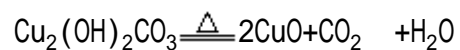


分解温度 800      100      常温  
酸式盐可由多元酸与适量的碱式盐反应生成，例如：



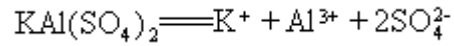
## 碱式盐

碱中的氢氧根离子部分被中和的产物，它是由金属阳离子、氢氧根离子和酸根阴离子组成的。例如碱式氯化镁  $[\text{Mg}(\text{OH})\text{Cl}]$ 、碱式碳酸铜  $[\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3]$ 。  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液加入铜盐溶液得到绿色  $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$  沉淀。自然界存在的  $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$  俗称孔雀绿。碱式盐的溶解度一般不大，但溶于强酸，受热的分解，例如：



## 复 盐

由两种不同的金属离子和一种酸根离子组成的盐。例如硫酸铝钾  $[KAl(SO_4)_2]$ ，十二水合硫酸铝钾  $[KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O]$  俗称明矾。明矾也可用化学式  $K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$  表示，是无色晶体，溶于水完全电离产生三种离子， $Al^{3+}$  水解形成  $Al(OH)_3$  胶体，水溶液呈酸性。



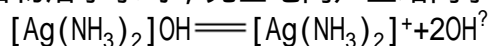
$Al(OH)_3$  有很强的吸附能力，它吸附水中悬浮的杂质形成沉淀。因此，明矾可作净水剂，还可作收敛剂和媒染剂。

氯化镁钾  $[KMgCl_3]$  也是复盐。自然界的  $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ，俗称光卤石，易溶于水。从光卤石可提取  $KCl$  和  $MgCl_2$ 。复盐和复盐的水合物都属于纯净物。

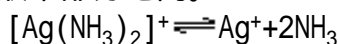


## 络合物

含有络离子的一类复杂化合物，例如冰晶石  $\text{Na}_3[\text{AlF}_6]$ 、硫酸四氨合铜(II)  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ 、氢氧化二氨合银  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$  等。上述络合物的化学式中，用方括号括起的部分叫络离子，是络合物的内界，方括号以外的部分是络合物的外界。络离子是由中心离子(或原子)和配位体以配位键结合而成。常见的中心离子是过渡元素离子如  $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ag}^+$ 、 $\text{Hg}^{2+}$  等；常见的配位体有  $\text{F}^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{CN}^-$ 、 $\text{SCN}^-$  离子和  $\text{NH}_3$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  等分子。它们之间容易形成络离子如  $[\text{Fe}(\text{SCN})]^{2+}$ 、 $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ 、 $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$  等。络合物的内界与外界以离子键结合，络合物溶于水时，完全电离产生络离子：



络离子比较稳定，在水溶液中部分电离。



络合物普遍存在。例如人体中的血红素是  $\text{Fe}^{3+}$  的络合物，植物体内的叶绿素是  $\text{Mg}^{2+}$  的络合物。络合物广泛应用于工农业生产和科学技术，例如金的提取、电镀、照相技术，离子的鉴定和测定等。络合物，现称为配位化合物，简称配合物。

## 二、常见元素的单质及其重要化合物

氯气的物理性质 黄绿色具刺激性气味的有毒气体。比空气重，熔点-100.98 ，沸点-34.67 。溶于水(20 时 1 体积水可溶解 2.15 体积  $\text{Cl}_2$ )，难溶于饱和食盐水，易溶于有机溶剂。制备时应采用向上排空气法收集。工业上利用它容易液化的性质，将干燥的氯气制成液氯，压入涂成草绿色钢瓶贮存。氯气在水中因溶解得不太多(饱和时 0.09 摩/升，标准状态下)，用水吸收残氯效率不高，故多用碱液吸收。遇到氯气逸散时，可以站到高处用湿毛巾捂住口鼻以减轻毒害。用活性炭吸附沸点较高的氯气可使空气净化。氯水呈黄绿色，用  $\text{CCl}_4$  等有机溶剂萃取则水层转为无色， $\text{CCl}_4$  层转为较深黄绿色。除去氯气中混有的少量氯化氢可用饱和食盐水洗气，若氯化氢中混有少量氯气则可用活性炭除去氯气。

## 氯气的化学性质

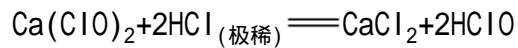
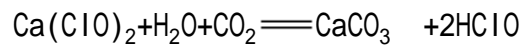
强非金属、强氧化剂。除  $O_2$ 、 $N_2$ 、 $C$  和稀有气体外，氯气与其它元素几乎都能直接化合为氯化物，且常将变价元素氧化为高或较高价态，如与  $Cu$ 、 $Fe$  等反应。能与许多还原性化合物反应将其中低价态元素氧化，如与  $NaBr$ 、 $NaI$ 、 $Na_2S$  反应置换出  $Br_2$ 、 $I_2$ 、 $S$ ；与  $NH_3$  反应氧化出  $N_2$ 。与水或碱发生歧化反应，产物为  $Cl^-$  和氯的含氧酸根  $ClO^-$ 、 $ClO_3^-$  等。如与水的反应  $Cl_2 + H_2O \rightleftharpoons HCl + HClO$ ， $HClO$  的强氧化性使氯水和湿氯气有漂白性。与冷的碱溶液反应以生成氯化物和次氯酸盐为主，在热的碱溶液中则有氯酸盐生成。氯气与有机物的反应主要是取代反应，(如对烷、环烷、苯等)、加成反应(如对烯、炔、橡胶和紫外光条件下对苯等)。氯水的有关反应则为：与碱反应同氯气；对  $H_2S$ ，则稀氯水以氧化出硫沉淀为主，浓氯水与  $H_2S$  反应看不到沉淀而直接氧化出  $H_2SO_4$ ；对  $SO_2$  或  $SO_3^{2-}$ ，则生成  $H_2SO_4$  或硫酸盐；对  $Mg$  则氯水中的  $HCl$  起重要作用有  $H_2$  放出；与  $AgNO_3$  溶液也属于其中  $Cl^-$  的反应，生成白色的  $AgCl$  沉淀。若要从氯水获得较浓的  $HClO$  溶液，则可加入  $CaCO_3$  粉，因  $H_2CO_3$  比盐酸弱又比  $HClO$  强，而  $CaCO_3$  只与盐酸反应，使氯水中的化学平衡向生成  $HClO$  的方向移动。氯水的漂白性、见光分解出  $O_2$  以及使醛溶液等氧化皆与其中的  $HClO$  有关。

## 氯气的用途

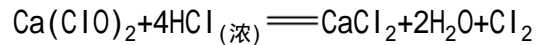
重要化工原料。大量用于制造有机合成的中间体(如氯苯、氯化萘等)、溶剂(如氯代烷类)、盐酸、漂白粉以及制造药物(如氯胺 T 等)和农药；在生产塑料聚氯乙烯、合成纤维氯纶、合成橡胶氯丁橡胶等合成材料时也需用多量氯气。氯气液化后压入钢瓶常供纸浆漂白、纺织品漂白、自来水消毒杀菌、制次氯酸钠、从卤水中提炼溴和碘以及某些金属或硅的提纯冶炼等。

## 次氯酸和漂白粉

HClO，仅存于水溶液中，为强氧化性的弱酸(比 H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 弱)。不稳定，见光分解为 HCl 与 O<sub>2</sub>。能漂白有色有机物(色素被氧化而褪色)。于氯水里加入 CaCO<sub>3</sub> 粉消耗盐酸可制得较浓的 HClO 溶液。漂白粉为白色粉末，是 Ca(ClO)<sub>2</sub> 与 CaCl<sub>2</sub> 的混合物。吸湿有氯气味，用于漂白时，因 CO<sub>2</sub> 或 HCl 等酸性物质作用使 Ca(ClO)<sub>2</sub> 转化为 HClO 而起漂白作用：



遇浓盐酸则生成氯气



也可用此法制 Cl<sub>2</sub> 或测其中的“有效氯”。一般有效氯约 35%，有效成分是 Ca(ClO)<sub>2</sub>，用为廉价的有效的漂白剂和消毒剂。工业上用氯气与熟石灰反应制得，保存时应密闭以防吸湿和吸入 CO<sub>2</sub> 而失效。

## 氯化氢的性质

无色有刺激性气味的气体。标准状态下密度为 1.00045 克/升，熔点 -114.80 ，沸点 -85 。在空气中发白雾，溶于乙醇、乙醚，极易溶于水。实验室中用水吸收时不得把导管口伸入水下，而要在导管口连接倒放的漏斗，使其边缘紧贴水面以利吸收并防止倒吸。因 HCl 的沸点低，不易液化，若混入少量氯气可用活性炭吸附掉易液化的  $\text{Cl}_2$ 。若  $\text{Cl}_2$  中混入 HCl 则可用少量水或饱和食盐水洗气以除去溶解度甚大的 HCl。干燥 HCl 气不活泼，对锌、铁均无反应。其水溶液叫盐酸，常用的浓盐酸密度为 1.18 ~ 1.19 克/厘米<sup>3</sup> (含 HCl 36 ~ 38% 的溶液) 相当于 12 摩/升左右。浓盐酸是挥发性强酸，加热蒸发时则 HCl 逸出得比水多，致使浓度下降，至 20% 即不再下降，成为“恒沸点溶液”。盐酸具有酸的通性，其酸根  $\text{Cl}^-$  无氧化性，为非氧化性酸。

## 氯化钠

NaCl，食盐的主要成分，无色立方晶体，密度 2.165 克/厘米<sup>3</sup>，熔点 801℃，沸点 1413℃。中性，味咸。溶于水和甘油，在水中的溶解度随温度变化较小。将热饱和 NaNO<sub>3</sub> 与 KCl 溶液混合，则溶液中大部分 Na<sup>+</sup>和 Cl<sup>-</sup> 会形成 NaCl 晶体析出，除去 NaCl 后使母液冷却即有大量 KNO<sub>3</sub> 晶体出现，据此在工业上用 NaNO<sub>3</sub> 与 KCl 生产钾硝石。NaCl 晶体中 Na<sup>+</sup>和 Cl<sup>-</sup> 以离子键结合，每个离子皆紧邻 6 个其它电荷相反的离子，即以 Na<sup>+</sup><sub>6n</sub> Cl<sup>-</sup><sub>6n</sub> 形式结成晶体，化学式为 NaCl，表示 Na<sup>+</sup> : Cl<sup>-</sup> = 1 : 1。食盐用为调味剂、腌渍食品、制造氯气、烧碱、盐酸、纯碱、次氯酸钠、金属钠等，精制的 0.9% NaCl 水溶液(精制 NaCl 9 克溶于 1 升无菌注射用水中按药典要求配制) 即医疗用的生理食盐水。自然界食盐主要存在于海水，盐湖、盐矿、盐井中，可晒海水或采矿获得。氟

元素符号 F，周期表中 VIIA 族元素，原子序数 9，原子量 18.99840，没有同位素，为单核素元素。游离态氟气 F<sub>2</sub> 为淡黄色气体，熔点 -219.62℃，沸点 -188℃。有不愉快的刺激气味，剧毒。是最活泼的非金属，有极强的氧化性，能与除 He、Ne、Ar 外的一切元素化合。低温时就能与 H<sub>2</sub>、P、I<sub>2</sub>、As、C、Si 等非金属猛烈反应并常伴有炽热、火焰或爆炸现象。但遇 Mg、Cu、软钢等于常温下使金属表面形成一层氟化物保护膜而使反应受阻，升温则反应继续进行。遇水或氨气发生剧烈反应有 HF、O<sub>2</sub> 或 N<sub>2</sub> 生成；与许多有机物也发生反应。F<sub>2</sub> 能从卤化物中置换出 Cl<sub>2</sub>、Br<sub>2</sub>、I<sub>2</sub>，但对卤化物水溶液则对水反应生成 O<sub>2</sub> 和 HF。F<sup>-</sup> 还原性极弱，几乎没有化学药品能将它氧化。制 F<sub>2</sub> 只好采用电解 HF - KF 的无水熔态液体，于阳极上生成 F<sub>2</sub>，阴极上生成 H<sub>2</sub>。主要用为氟化剂、火箭燃料。在原子能工业中利用 <sup>235</sup>UF<sub>6</sub> 与 <sup>238</sup>UF<sub>6</sub> 扩散速度不同来分离 <sup>235</sup>U 和 <sup>238</sup>U。

## 溴

元素符号 Br，周期表 A 族元素。原子序数 35，原子量 79.904。溴单质  $\text{Br}_2$ ，为深棕色液体，不断挥发出棕红色刺激性气味的  $\text{Br}_2$  蒸气。密度 3.12 克/厘米<sup>3</sup>(20 )，熔点 -7.3 ，沸点 58.8 。固态溴是有金属光泽的黄绿色晶体。稍溶于水，溶于盐酸、氢溴酸、KBr，易溶于有机溶剂。具有强非金属性和氧化性，但弱于  $\text{F}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{Cl}_2$ ，与有机物在不同条件下可发生取代或加成反应。对橡胶腐蚀严重，液溴必须保存在密闭玻璃塞瓶里，有时为防止挥发可加少许水，使表面形成薄层“水封”。主要用于制溴化物和有机合成。工业上用氯气与卤水反应再经处理制取液溴。溴水呈棕黄至橙色，饱和溴水在 -200 不冻结。加热则溴挥发而变无色。在日光作用下反应较明显， $\text{Br}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HBr} + \text{HBrO}$ (或  $\text{HBrO}_3$ )。故应贮于棕色玻璃塞瓶中密闭保存。因反应使溴水褪色的常见的物质有 NaOH、 $\text{NaCO}_3$ 、 $\text{SO}_2$ 、

$\text{SO}_3^{2-}$ 、 $\text{S}^{2-}$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 、烯、炔、苯酚、醛的水溶液。I<sup>-</sup> 则虽与  $\text{Br}_2$  反应但生成的  $\text{I}^?$  溶解可使溶液颜色转深。有机溶剂中的  $\text{C}_6\text{H}_6$ 、 $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$ 、 $\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)_2$ 、 $\text{CHCl}_3$ 、 $\text{CCl}_4$  等不与溴水反应，但能萃取  $\text{Br}_2$  使有机溶剂层颜色变深呈棕红或橙红色。

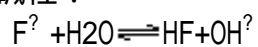


## 碘

元素符号 I，元素周期表中 A 族元素，原子量 126.9，紫黑色晶体，有金属光泽，性脆，为分子晶体。它易于挥发、升华，这个性质可用来提纯碘。微溶于水呈浅褐色，易溶于 KI 溶液或酒精中显棕褐色。甚易溶于苯、 $\text{CCl}_4$ 、 $\text{CS}_2$  等有机溶剂中呈紫色。在溶剂里呈紫色时显其蒸汽的颜色，溶质为  $\text{I}_2$ ，而在一些溶剂中的棕至褐色说明还有  $\text{I}_2$  与溶剂生成的化合物存在。据此可用苯或  $\text{CCl}_4$  从水溶液里萃取碘或检验碘的存在。游离态  $\text{I}_2$  的非金属性和氧化性均比卤素中的  $\text{F}_2$ 、 $\text{Cl}_2$ 、 $\text{Br}_2$  弱。它与金属或非金属的反应一般比  $\text{Cl}_2$ 、 $\text{Br}_2$ 、 $\text{F}_2$  弱，如难与  $\text{H}_2$  化合，与 Fe 仅生成  $\text{FeI}_2$ 。溶于碱有碘化物、碘酸盐生成(歧化)。与淀粉于 55℃ 以下显蓝色，是  $\text{I}_2$  的特征反应之一。用 KI 淀粉试纸检验  $\text{Cl}_2$  等即根据  $2\text{I}^- + \text{I}_2$ ，随即与淀粉发生显色反应。此试纸遇  $\text{Br}_2$ 、 $\text{O}_3$ 、 $\text{NO}_2$  等都能变蓝，故不要用它区分  $\text{Br}_2$  蒸气与  $\text{NO}_2$  (可用水或  $\text{AgNO}_3$  溶液)。碘有腐蚀性，不宜用铁盖或橡胶塞试剂瓶盛放。碘元素在化合物中常呈 -1、+5、+7 价。 $\text{I}^-$  为具较强还原性的阴离子，易被活泼卤素、 $\text{O}_2$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{HNO}_3$ 、 $\text{Fe}^{3+}$  氧化。故 HI 溶液不易存放，KI 溶液也有时因析出微量  $\text{I}_2$  而呈黄色。

## 氟化钠

NaF，无色或半透明光亮晶体。密度 2.558 克/厘米<sup>3</sup>，熔点 993 ，沸点 1695 。溶于水，水解呈弱碱性：



在玻璃试剂瓶中若有水蒸气则水解出的少量 HF 会腐蚀玻璃而“发毛”，一般要干燥保存或于塑料瓶内存放。用于杀灭地下害虫、杀菌、木材防腐、焊剂。极少量用于缺氟的饮用水氟化处理和制氟化钠牙膏。可用 HF 与 NaOH 或 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 反应制取。

## 氯化钙

$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ，无色六角晶体，熔点 29.92 或 30 ，苦咸，易吸湿潮解。加热至 200 失水而成白色立方晶体无水  $\text{CaCl}_2$ ，熔点 782 ，有强吸湿性。是实验室里常用的干燥剂，但不能用于干燥氨气或酒精蒸气，因为会生成氨合物或酒精合物。保存时必须密闭以防吸水潮解。其水溶液的冰点降低，可用做防冻剂和冷冻液。水溶液里通入  $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$  皆不反应，无沉淀现象；若加纯碱则在即有白色沉淀  $\text{CaCO}_3$  析出。遇  $\text{NaOH}$  溶液，浓时有微溶物  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  白色浑浊，如碱液很稀无沉淀现象。

## 溴化银

AgBr，浅黄色晶体。熔点 432 ，加热高于 1300 时分解。难溶于水和稀硝酸，可溶于氨水，饱和 NaCl 或 NaBr 溶液、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  或 KCN 溶液。易见光分解，用于制照像底片，感光纸等。在眼镜玻璃中掺入 AgBr 微粒，在光照时分解出银粒变深，无光时 Ag 与周围的  $\text{Br}_2$  化合为 AgBr 又变浅，这是变色镜的变色原理。工业上用  $\text{AgNO}_3$  溶液与 NaBr 溶液在暗室或红光下反应制取。

## 碘化银

AgI，黄色晶体。密度黄色 5.683 克/厘米<sup>3</sup>，橙色 6.010 克/厘米<sup>3</sup>。难溶于水、氨水或稀硝酸，但溶于 Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、KCN、KI 等水溶液。见光变色，最后变黑，感光作用比 AgBr 差。用于制照像底片和感光纸，也用于人工降雨。可用 AgNO<sub>3</sub> 溶液与 KI 溶液在红光或暗室中反应制取。若把 AgI 从 AgBr、AgI 的混合物中分离出来，可加浓氨水将 AgBr、AgCl 溶出(生成可溶性 Ag(NH<sub>3</sub>)<sub>2</sub><sup>+</sup> 而留下 AgI。

## 卤族元素

元素周期表中 A 族元素，简称卤素。包括氟、氯、溴、碘、砹五种元素。最外层电子数皆为 7(具  $ns^2np^5$  结构)，易得电子成 -1 价阴离子。非金属性皆强于同周期的其它元素。除氟为 -1 价外，其它卤元素皆有 -1、+1、+3、+5、+7 价。其单质化学性质活泼，能与大多数金属和非金属直接化合，因与金属直接化合成盐，按“天生曰卤，人造曰盐”而得名“卤素”。其中砹为放射性元素。本族在自然界中无游离态，以化合态存在于卤化物和其它矿物中。

卤族元素的物理性质和化学性质 物理性质见表

单质	颜色状态	密度	熔点( )	沸点( )	溶解性
F <sub>2</sub>	浅黄色气体	1.69 克/升 (SPT)	-219.62	-188.14	
Cl <sub>2</sub>	黄绿色气体	3.214 克 / 升 (SPT)	-100.98	-34.6	溶于水，易溶于有机溶剂
Br <sub>2</sub>	暗红色液体	3.119 克 / 厘米 <sup>3</sup>	-7.2	58.78	略溶于水，易溶于有机溶剂
I <sub>2</sub>	紫黑色具金属光泽固体	4.93 克 / 厘米 <sup>3</sup>	113.5	184.35	微溶于水，易溶于有机溶剂
At	黑色晶体				微溶于水，溶于有机溶剂

卤素单质具化学活泼性，最活泼的是氟，与水猛烈反应出 O<sub>2</sub>，在加热的条件下，绝大多数金属能在氟中燃烧；也易从固态金属卤化物中置换出其它卤素，与 H<sub>2</sub> 在低温下发生爆炸式化合。氯活泼性比氟小些。与水反应缓慢生成 HCl、HClO，与 H<sub>2</sub> 在光照下发生爆炸反应；与多数非金属(除稀有气体、C、O<sub>2</sub> 等)化合成共价化合物，与饱和烃发生取代，与不饱和烃作用发生加成反应，与多数金属反应，大部分有燃烧现象。溴与氯相似，但活泼性比氯稍弱，与 H<sub>2</sub>、金属、非金属反应没有氯那样猛烈，与水反应的程度比氯小，在日光中 HBrO 也分解出 O<sub>2</sub>。碘的活泼性比溴弱，也发生上述反应，与水几乎不发生化学反应，可氧化 S<sup>2-</sup>，遇淀粉变蓝(55 以下)。

## 卤族元素单质、化合物的相似性和递变性

游离态皆为双原子分子，固态时皆为分子晶体。皆有颜色，按原子序数增大顺序(下同)颜色按黄、黄绿、深棕红、紫黑、黑色逐渐加深。熔沸点皆不高，仍呈由低到高的趋势。由难液化气体至易液化气体，再至易挥发液体，至碘、砷为固体。单质的密度不算大，有由小到大的递变。对水的溶解性则呈依次减弱的趋向。卤单质皆为强或较强非金属，化性活泼，氧化性显著，随原子序数增大而活动性依次减弱。皆与氢气直接化合生成易溶于水的气态氢化物，化合力渐弱；与金属直接化合生成盐。皆与水反应除  $F_2$  与水置换出氧外，其它皆发生歧化反应，但与水作用的程度依次递减。皆与碱反应除  $F_2$  特殊外，其它皆产生卤化物与卤酸盐或次卤酸盐。总趋势为非金属活动性由强而弱，氧化性也由强到弱。卤素的氢化物皆为无色气体皆有刺激性气味，于湿空气中发白雾。极易溶于水，水溶液为氢卤酸，依卤素的原子序加大(下同)酸性渐强(HF 为弱酸，其它为强酸)。氢化物皆不能在空气中点燃，稳定性由强而弱，至 HI 等即极难于保存。卤阴离子皆具有还原性，但  $F^-$  极弱，几乎没有任何化学药品能将其氧化，以后则依次还原性增强，如 HCl 中  $Cl^-$  能被  $MnO_2$  等氧化但浓  $H_2SO_4$  不与其作用， $Br^-$  则浓  $H_2SO_4$  可将其氧化， $I^-$  则浓  $H_2SO_4$  能将其迅速全部氧化。卤素的银盐除  $AgF$  为可溶外，其它皆难溶于水，且溶解性递减，颜色渐深。

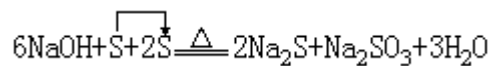
## 硫的物理性质

黄色松脆固体。熔、沸点不高，硬度不大。常温时硫以菱形硫(斜方硫)形式存在，外观菱形，熔点 112.8 ，密度 2.07 克/厘米<sup>3</sup>。超过 95.6 则渐渐转化为另一种同素异形体，外观为针状叫单斜硫。密度 1.96 克/厘米<sup>3</sup>，熔点 119.0 。低于 95.6 则又缓缓变为斜方硫。液态硫刚溶成时为苍黄色流动液体，继续受热变为棕色且粘稠，再加热棕色液体又复流动，至 444.6 沸腾成具 S<sub>2</sub> 组成的蒸气。遇冷气态硫凝华为硫粉(S<sub>8</sub> 俗称硫华)，借此可提纯硫黄。难溶于水，略溶于酒精、乙醚，易溶于二硫化碳、苯、四氯化碳。据此分离黑火药成分(KNO<sub>3</sub>、C、S)时可先用 CS<sub>2</sub> 溶去硫，再用水溶去 KNO<sub>3</sub>，剩余物为炭粉。



## 硫的化学性质

主要有-2、+2、+4、+6价。一定条件下能与除稀有气体、I<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>以外许多元素直接化合。单质硫为0价，属于中间价态。既可表现氧化性也能表现出还原性，但以氧化性为主。当其作为较弱的氧化剂时，常见的反应有，与H<sub>2</sub>加热生成H<sub>2</sub>S；与金属反应生成硫化物，且化合时常比与O<sub>2</sub>反应容易，如与Na共研发生爆炸、与Al共热剧烈反应生成Al<sub>2</sub>S<sub>3</sub>、与Fe加热伴有燃烧现象生成低价铁的硫化物FeS、与Cu燃烧生成低价铜的硫化物Cu<sub>2</sub>S、与Hg共研于常温即生成黑色HgS、与Ag共热生成黑色Ag<sub>2</sub>S(而O<sub>2</sub>不与Ag反应，也不与Cu发生燃烧反应，与Hg化合极缓)。与C在高温生成CS<sub>2</sub>。硫的还原性则表现于跟强氧化剂的反应中，如与O<sub>2</sub>在363(着火点)可燃烧生成SO<sub>2</sub>；与Cl<sub>2</sub>共热生成SCl<sub>2</sub>和S<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>；与热浓H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>或浓HNO<sub>3</sub>可被氧化分别生成SO<sub>2</sub>或H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>。与碱共热发生歧化反应：



$\frac{1}{3}\text{mol S}$  被氧化， $\frac{2}{3}\text{mol S}$  被还原。

## 硫的用途

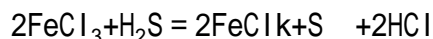
化学工业主要用以生产硫酸、制硫化物、亚硫酸盐、海波( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ 与S反应)等。橡胶工业用硫或 $\text{S}_2\text{Cl}_2$ 使橡胶硫化以改变生橡胶热发粘冷变硬的不良性能。造纸工业用以制取 $\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$ 以溶解纸浆中的非纤维素成分,提高纸浆质地。此外医药上制硫黄软膏、沉淀硫水剂,农药方面用以和石灰乳混合制取石硫合剂杀灭有害病菌。在一些轻工和食品工业用硫制得 $\text{SO}_2$ 以用来除杂质或漂白。

## 二氧化硫

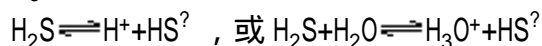
$\text{SO}_2$ ，无色有刺激性气味的气体。密度 2.927 克/升(气体，标准状况下)，1.434 克/毫升(液)。熔点 $-72.^\circ\text{C}$ ，沸点 $-10^\circ\text{C}$ ，易液化，曾用为致冷剂。易溶于水(约 1 : 40)。 $\text{SO}_2$  中的 S 为中间价态，通常反应中呈还原性，如与  $\text{O}_2$  在催化剂和加热条件下生成  $\text{SO}_3$ 、与  $\text{NO}_2$  生成  $\text{SO}_3$  和  $\text{NO}$ 、与氯水或溴水反应生成  $\text{H}_2\text{SO}_4$  和对应的氢卤酸。遇强还原剂则可显氧化性。如与  $\text{H}_2\text{S}$  则生成  $\text{H}_2\text{O}$  与 S。有水时  $\text{SO}_2$  能使某些有机色素与其本身结合变为无色，即  $\text{SO}_2$  具漂白性。但久放或日晒、加热颜色会复现。其水溶液为亚硫酸，属于中强酸，仅存于水溶液中。与碱反应生成对应的亚硫酸盐。 $\text{SO}_2$  用为漂白剂、精制食油、冷冻剂、制亚硫酸盐等。实验室常用新开封的  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  与  $\text{H}_2\text{SO}_4$  制取，工业上可燃硫或煅烧黄铁矿制取。

## 硫化氢

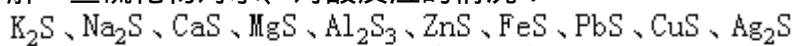
$H_2S$ ，无色有臭鸡蛋味气体，有毒。密度 1.539 克/升(标准状况)、熔点  $-85.5$ ，沸点  $-60.7$ 。溶于水(约 1 : 2.6)、乙醇、甘油。不稳定，加热则分解出  $H_2$  和  $S$ 。易燃烧，火焰呈蓝色，空气充足生成  $SO_2$  和  $H_2O$ ；不完全燃烧则有  $S$  与水生成。具强还原性，遇溴水、碘水或很稀氯水皆被氧化出  $S$  沉淀，浓溴水和浓氯水则可将  $H_2S$  氧化成  $H_2SO_4$ ，浓溴水与之反应有  $S$  与  $H_2SO_4$  同时产生，用浓氯水则将其完全氧化为  $H_2SO_4$  而看不到沉淀现象。与  $FeCl_3$  则  $Fe^{3+}$  被还原为  $Fe^{2+}$ ：



$H_2S$  水溶液称为氢硫酸，常态下  $H_2S$  饱和时其浓度 0.116 摩/升。在空气中不久即被溶入的  $O_2$  氧化有  $S$  生成而显浑浊，故实验时应使用新配制的氢硫酸。弱酸性(比  $H_2CO_3$  稍弱)，能使石蕊变微红色，其电离方程式为：

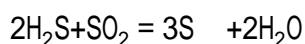


第二步电离  $HS^- \rightleftharpoons H^+ + S^{2-}$  则更弱。与金属则能与  $Mg$  反应( $H^+$ 作用)缓慢出  $H_2$ ，对不如  $Mg$  活泼的金属则难于反应。在空气里能使  $Cu$ 、 $Ag$  变黑，如：  
 $4Ag + O_2 + 2H_2S = 2Ag_2S + 2H_2O$  故光亮的银筷遇有  $H_2S$  的腐毒食品表面发暗。与盐溶液反应常见的有两种情况，其一为符合弱酸难与强酸盐反应的，如  $H_2S$  通入  $FeSO_4$  溶液不发生反应，另一似不符合“强酸复分解弱酸盐”的一般常规情况，如将  $H_2S$  通入  $CuSO_4$ 、 $Pb(NO_3)_2$ 、 $PbAc_2$ 、 $HgCl_2$ 、 $AgNO_3$  等溶液里有沉淀产生，原因是  $CuS$ 、 $PbS$ 、 $HgS$ 、 $Ag_2S$  难溶于稀酸的特殊性所致。可参照下表了解一些硫化物对水、对酸反应的情况：



溶于水，水 解呈碱性	溶于水， 强烈水解	不与水 共存	难溶于水 溶于稀酸	难溶于水和稀 酸溶于浓强酸
---------------	--------------	-----------	--------------	------------------

氢硫酸( $H_2S$ )遇  $SO_2$  则被氧化析出硫：



这是以还原性为主的  $SO_2$  表现氧化性的实例之一。遇冷浓  $H_2SO_4$  氧化析出硫，加热条件下  $H_2S$  被氧化产生  $SO_2$ ；与浓  $HNO_3$  则被氧化产生  $H_2SO_4$ 。与冷稀  $HNO_3$  可得硫，而热稀  $HNO_3$  则主要生成  $H_2SO_4$ 。实验室里可用  $FeS$  与稀盐酸或稀硫酸反应制取  $H_2S$  绝对不能用浓  $H_2SO_4$  或  $HNO_3$ 。欲获得干燥的  $H_2S$ ，常用无水  $CaCl_2$  作干燥剂，而不能用浓  $H_2SO_4$  或碱石灰。 $H_2S$  中杂有少量  $CO_2$  只宜用饱和  $NaHS$  溶液洗气，若用  $Na_2S$  溶液虽能去除杂质  $CO_2$ ，但  $H_2S$  与  $Na_2S$  反应生成酸式盐造成  $H_2S$  的损耗。

## 浓硫酸

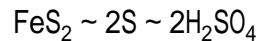
无色液体，较粘稠。密度 1.84 克/厘米<sup>3</sup>(96~98%)，沸点 338 (98.3%)。吸湿性强，可用为气体干燥剂(不能用于干燥 H<sub>2</sub>S、HI、HBr、NH<sub>3</sub> 等)，溶于水时放出大量热，稀释时只能缓慢注酸入水同时搅拌，以防剧烈放热酸液飞溅伤人。具酸性，氧化性，吸水性和脱水性。其吸水性指吸游离水分，可用于有机合成时吸收生成的水以利反应进行。如羧酸与醇的酯化、苯与硝酸的硝化，皆需浓硫酸为吸水剂(有的还兼作催化剂)；用为干燥剂也是吸水性的表现。脱水性能指由化合物中按 H:O=2:1 的原子数比使水脱去。如乙醇与浓硫酸共热制乙烯或乙醚、甲酸用浓硫酸脱水制 CO，以及使纸张、糖发生炭化(有时有副反应)等。其氧化性表现于如热浓硫酸与 Fe、Cu、Ag 等作用，有 SO<sub>2</sub> 生成(若有硫酸盐生成可视为还体现了硫酸的酸性)；冷浓硫酸使 Al、Fe 钝化；热浓硫酸与 C、S、P 反应生成 SO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O 和碳、硫的氧化物或磷酸。此外浓硫酸于常温即可使 I<sup>-</sup>、S<sup>2-</sup>、Br<sup>-</sup>、H<sub>2</sub>S、HI、HBr 氧化，但不能氧化 Cl<sup>-</sup>，加热时亦如此。在有机物磺化时浓硫酸为磺化剂。

## 金属的钝化

某些金属经化学方法处理(如用强氧化剂或经阳极氧化处理),由活泼态转变为不活泼态的过程。处理后的表面形成致密而坚韧的氧化膜薄层,不易腐蚀。如铁、铝能溶于稀硝酸,但用冷浓硝酸浸泡后则钝化而难与稀硝酸反应,再浸入  $\text{CuSO}_4$  溶液也不会置换出铜。此外镍、铬、钴、铋等金属可变为钝态。但钝化是有条件的,如 Ni、Fe 钝化后可耐受氧化性强酸却不能耐受盐酸。

## 硫酸的工业制法

19 世纪曾用以氮氧化物和二氧化硫反应体系的铅室法。现代皆用接触法，开始阶段为制备  $\text{SO}_2$  及其净化，即以 S 或  $\text{FeS}_2$  为原料经燃烧产生  $\text{SO}_2$ ，再用稀硫酸、浓硫酸等洗涤和其它处理得到纯而干燥的  $\text{SO}_2$  与空气的混合气体以防催化剂中毒。第二阶段是  $\text{SO}_2$  的催化氧化，将混合气体经  $\text{V}_2\text{O}_5$  或铂黑催化剂生成  $\text{SO}_3$ 。第三阶段是用 98.3%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  吸收  $\text{SO}_3$  (以防用水吸收生成难以处理的酸雾) 成发烟硫酸，根据需要加水稀释为各种浓度的硫酸。主要设备有沸腾炉或燃硫炉、接触室和吸收塔。关键反应是： $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3 + Q$  为提高  $\text{SO}_2$  转化率使平衡右移要有过最空气或  $\text{O}_2$ ，温度控制在 500 左右。这一温度是催化剂活性强时的适宜温度。若温度过高则平衡强烈左移；过低则反应过慢，使单位时间产量下降。加压虽有利于平衡右移，但工业上  $\text{SO}_2$  不加压时转化率已很高，而采用常压。用于计算的关系式为：



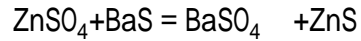
## 硫酸钙

$\text{CaSO}_4$  ,无色晶体 ,熔点 1450 (单斜晶体) ,微溶于水。生石膏  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  是天然矿物 ,为白、浅黄、浅粉红至灰色的透明或半透明的板状或纤维状晶体。性脆 ,128 失  $1.5\text{H}_2\text{O}$  , 163 失  $2\text{H}_2\text{O}$ 。工业上将生石膏热至 150 脱水成熟石膏(烧石膏) $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  ,或 $(\text{CaSO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  ,加水又转化为  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 。据此可用于石膏绷带、制作石膏模型、粉笔、工艺品、建筑材料。石膏还用于水泥调速剂以控制其硬化速度。油漆腻子、纸张填料也用到石膏 ,日常点豆腐可用它为凝结剂。农业上施用石膏以降低土壤的碱性。石膏矿与煤炭于高温可制得  $\text{SO}_2$  用于生产硫酸。 $\text{CaSO}_4$  溶解度不大 ,其溶解度呈特殊的先升高后降低状况。如 10 溶解度为 0.1928 克/100 克水(下同) , 40 为 0.2097 , 100 降至 0.1619 ,使溶解硫酸钙的硬水在高压锅炉(可达 400 )中结垢 ,造成危害 ,应于事前  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  使  $\text{CaSO}_4$  转化为更难溶的  $\text{CaCO}_3$  沉淀而除去(使硬水软化)。在大理石遇稀  $\text{H}_2\text{SO}_4$  时因生成微溶  $\text{CaSO}_4$  包于大理石表面阻碍与酸的接触 ,使反应停止 ,故不能用稀  $\text{H}_2\text{SO}_4$  与大理石制取  $\text{CO}_2$ 。



## 硫酸锌

$ZnSO_4$ ，无色或白色晶体，受热时未到熔化即于 600 分解为  $ZnO$  与  $SO_3$ ，溶于水，常见的皓矾为七水合物  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ，无色晶体，易溶于水，280 失水成无水物。水溶液呈弱酸性( $Zn^{2+}$ 水解)。与  $Na_2S$  溶液产生白色沉淀  $ZnS$ ；与少量  $NaOH$  溶液生成白色胶状  $Zn(OH)_2$  沉淀， $NaOH$  过量则溶为  $Na_2ZnO_2$ ，是  $Zn(OH)_2$  两性的体现之一。若用新配制的  $BaS$  溶液与  $ZnSO_4$  溶液以同摩尔浓度和等体积反应，则生成两种白色沉淀：



摩尔比为 1 : 1，其遮盖力强即白色颜料锌钡白(立德粉)，皓矾还用做媒染剂、收敛剂、补锌药剂、木材防腐剂等。

---

$Zn^{2+}$ 与过量的碱反应，则生成络离子。一般把酸锌写作  $Na_2ZnO_2$ 。

## 硫酸钡

$\text{BaSO}_4$ ，白色晶体。熔点 1580 ，难溶于水和酸，密度 4.5 克/厘米<sup>3</sup>。是唯一无毒的常见钡盐，天然矿物称为重晶石。用为白色颜料、纸张与橡胶填充剂、X 射线透视胃肠时用的“钡餐”、与碳于高温反应可被还原为  $\text{BaS}$ ，用于制造钡的其它化合物。 $\text{BaSO}_4$  为强电解质，但溶解度极小不能测出其在水中的导电性。

## 氧族元素

元素周期表中 A 族元素，包括氧、硫、硒、碲、钋 5 种元素。价电子 6 个，皆为最外层中的电子 ( $ns^2np^4$  结构)。得电子成 -2 价阴离子的趋势显著 (Te、Po 除外)。除氧外，常见价态为 -2、+4、+6，但 Po 为金属无负价，氧、硫、硒的非金属性强或较强，能与多数金属或非金属直接化合。

## 氧族元素单质、化合物的相似性和递变性

$O_2$ 是无色无臭气体， $O_3$ 为浅蓝色气体，有特殊的鱼腥气味。天然硫是黄色固体，由 $S_8$ 分子构成。硒和碲都是固体，结构较复杂。硒碲的化合物均有毒性。除钋为金属外皆为非金属，都有同素异形体：氧有氧气和臭氧；硫有菱形硫和单斜硫；硒有蓝灰色金属硒、红色无定形硒和黑硒；碲有银白色的金属碲和棕黑色的无定形碲；它们在固态时都属于分子晶体，熔点沸点高、具脆性。氧、硫为绝缘体，硒为半导体。随原子序数增加单质颜色渐深但至与周期表中的金属紧邻的碲则出现金属的颜色和光泽；熔、沸点渐高，密度渐大，传导性也逐渐加强。除氧常见只-2、0价外，其它皆有-2、0、+2、+4、+6价(Po不计)。它们的非金属性渐弱而金属性渐强，单质的氧化性渐弱还原性渐强。其中非金属皆能与氢直接化合但渐难，硫、硒、碲皆能在氧气中燃烧，对其它金属非金属的反应也趋减弱。气态氢化物皆为无色可溶于水，除水外皆具恶臭气味，且越趋难闻，并且具强烈毒性，这是本族的重要特点之一。除水为中性外， $H_2S$ 、 $H_2Se$ 、 $H_2Te$ 水溶液皆呈弱酸性且依次渐强。氢化物只水极难分解，其它氢化物则较易热分解并越来越易，稳定性渐弱，还原性渐强。除水不可燃外， $H_2S$ 、 $H_2Se$ 、 $H_2Te$ 皆可点燃。除氧、钋外它们的+4价氧化物皆为 $RO_2$ 形式，但 $SO_2$ 为气体溶于水以还原性为主； $SeO_3$ 为白色固体溶于水、剧毒； $TeO_3$ 为白色固体却难溶于水。其+6价氧化物， $SO_3$ 为易气化的纤维状白色针状晶体， $SeO_3$ 也是白色纤维状固体，它们皆溶于水生成对应的含氧酸，而 $TeO_3$ 却带黄色或灰色是难溶于水只溶于碱的固体。含氧酸则 $H_2SO_3$ 为仅存于水溶液中以还原性为主的中强酸，极易分解和氧化； $H_2SeO_3$ 是无色易风化固体于70℃分解，溶于水，酸性弱； $H_2TeO_3$ 的酸性更弱但毒性大。 $H_2SO_4$ 为有吸水性、脱水性和氧化性的强酸，于沸腾时缓缓少量分解。而 $H_2SeO_4$ 是白色固体可溶于水，在260℃分解，毒性大，其酸性很强，氧化性超过硫酸；碲酸是很特殊的白色固态的弱酸，其氧化性介于 $H_2SO_4$ 、 $H_2SeO_4$ 之间。

## 氧族元素的性质

物理性质见下表

	同素异形体	颜色状态	密 度	熔点( )	沸点( )	溶解性
氧	氧气 O <sub>2</sub>	无色气体 (无气味)	1.429 克/升 (SPT)	-218.787	-182.962	溶于水
	臭氧 O <sub>3</sub>	无色气体 (有气味)	2.144 克/升 (SPT)	-192.7 ± 2	-111.9	溶于油
硫	斜方(菱形)硫	黄色晶体 (菱形)	2.07 克/厘 米 <sup>3</sup> (下同)	112.8	444.674	溶于 CS <sub>2</sub> 、 CCl <sub>4</sub> 难溶于水
	单斜硫	苍黄色晶体 (针状)	1.96	119.0		
硒	金属硒	蓝灰色 有金属光	4.81	217	684.9 ± 1	溶于氯仿、 硫酸
	无定形硒	泽晶体				
	黑硒	红色粉末 黑色固体	4.26 4.28			
碲	金属碲	银白色固体	6.25	452	1390	溶于硫酸、 王水
	无定形碲	棕黑色粉末	6.00	449.5 ± 0.3	989.8 ± 3.8	
钋	简单立方形	银白色金属	9.4	254	962	
	菱形	同上				

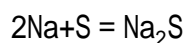
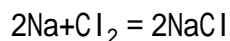
氧族元素的非金属性弱于同期中的卤素，O<sub>2</sub>能和多种物质反应，与大多数金属和非金属生成氧化物、与大多数非金属氢化物反应使其氧化、与低价态氧化物反应使价态升高、与硫化物反应生成对应的氧化物或硫酸盐。硫的氧化性比氧弱，能与多数金属直接化合为硫化物，和非金属反应多数生成共价型硫化物，能在 O<sub>2</sub>里燃烧。硒弱于硫但很相似，碲则更弱。

## 钠的物理性质

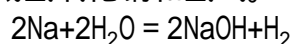
钠是银白色的金属，熔点  $97.8$  ，受热容易熔融。沸点  $882.9$  ，密度  $0.97$  克/厘米<sup>3</sup>，比水还轻。硬度  $0.4$ ，很软，可以用刀子切割。钠和含钠化合物燃烧的火焰具有特征的黄色，一般可以据此判断钠元素的存在，如普通玻璃管灼烧时的火焰呈黄色，就是由于玻璃中含有钠元素的缘故。

## 钠的化学性质

钠是第三周期 A 族元素，最外层电子是  $3s^1$ ，极易失去，因此钠是非常活泼的金属元素。钠在空气中极易氧化，迅速失去金属光泽，所以钠不能露置于空气中，而应贮存在煤油里。钠在空气中受热会发生燃烧，生成过氧化钠。 $2\text{Na} + \text{O}_2 \xrightarrow{\Delta} \text{Na}_2\text{O}_2$  钠能跟卤素、硫、磷、氢等非金属直接发生反应，生成相应的化合物，如



钠跟水发生剧烈反应，生成氢氧化钠和氢气。



由于此反应放出大量的热，能引起氢气燃烧，所以钠失火不能用水扑救。钠具有很强的还原性，可以从一些熔融的金属卤化物中把金属置换出来。由于钠极易与水反应，所以不能用钠把居于金属活动性顺序钠之后的金属从其盐溶液中置换出来。

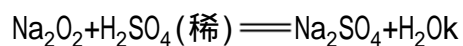
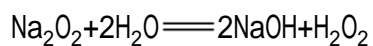
## 钠的用途

钠有广泛的用途。(1)做还原剂，用以将钛、锆、铌、钽等在国防工业上有重要用途的金属从其熔融的卤化物中还原出来。(2)做化工原料，用以生产丁钠橡胶、氢化钠、过氧化钠、氰化钠等含钠化合物。(3)制造合金。钠与汞的合金钠汞齐，用做有机合成的还原剂。钠铝合金  $\text{Na}_4\text{Pb}$ ，用于汽油抗爆剂四乙基铅的生产： $\text{Na}_4\text{Pb} + 4\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl} = (\text{C}_2\text{H}_5)_4\text{Pb} + 4\text{NaCl}$ 。钠钾合金，在室温下呈液态，它的密度、粘度小，比热大，导热率高，用做核反应堆的冷却剂和热交换剂。(5)做电光源。钠蒸气的黄光透雾力强，用钠制造的高压钠灯广泛用于公路照明。

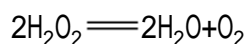


## 过氧化钠

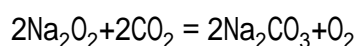
化学式  $\text{Na}_2\text{O}_2$ ，淡黄色粉末，密度 2.805 克/厘米<sup>3</sup>。它具有强氧化性，在熔融状态时遇到棉花、炭粉、铝粉等还原性物质会发生爆炸。因此存放时应注意安全，不能与易燃物接触。它易吸潮，遇水或稀酸时会发生反应，生成  $\text{H}_2\text{O}_2$ 。



反应放热，使  $\text{H}_2\text{O}_2$  立即分解放出  $\text{O}_2$ 。



它能与  $\text{CO}_2$  作用，放出  $\text{O}_2$ 。



根据这个性质，可将它用在矿山、坑道、潜水或宇宙飞船等缺氧的场合，将人们呼出的  $\text{CO}_2$  再转换成  $\text{O}_2$ ，以供呼吸之用。它还可以用于消毒、杀菌和漂白。

## 碳酸钠

化学式  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ，工业上叫做纯碱，俗名苏打。无水碳酸钠是白色粉末，熔点 851，密度 2.532 克/厘米<sup>3</sup>，易溶于水，吸湿结块。它是强酸弱碱盐，容易水解，水溶液呈碱性。它常以水合物形式存在，如一水合物  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ，七水合物  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  和十水合物  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ，后者是白色晶体，容易风化，是日常食用碱的主要成分，又称晶碱或洗濯碱，北方盐碱湖中有天然产出，故又称天然碱，碳酸钠可由氨、二氧化碳和饱和食盐水共同作用制得，也可以用天然碱加工精制而得。碳酸钠是基础化工产品之一，产量大，用途广泛，是玻璃、造纸、肥皂、洗涤剂、石油、染料、食品等工业的重要原料，冶金工业的助熔剂，硬水的软化剂，还可以从它制得钠的其它化合物。

## 碳酸氢钠

化学式  $\text{NaHCO}_3$ ，俗名小苏打，白色粉末，密度  $2.20 \text{ 克/厘米}^3$ ， $270^\circ\text{C}$  时分解生成碳酸钠，能溶于水。它是强碱弱酸盐，水溶液因水解而呈弱碱性。受热或遇酸能放出  $\text{CO}_2$ ，故可作为工业上的  $\text{CO}_2$  源，如用做橡胶工业的发泡剂、清凉饮料的  $\text{CO}_2$  发生剂。它与酒石酸氢钾  $[\text{KHC}_4\text{H}_4\text{O}_6]$ 、磷酸二氢钙  $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2]$  等混合，可制成发酵粉，用以焙制面包、饼干和家庭发面。它是消防用泡沫灭火剂和干粉灭火剂的重要原料，还是制造胃药的重要成分，用以中和多余的胃酸。

## 硫酸钠

化学式为  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ，俗名元明粉，无色斜方晶体，熔点 884 。常以水合物形式存在，如十水硫酸钠( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ，俗称芒硝)。有苦咸味，易溶于水。芒硝加热到 100 失去结晶水，或在空气中迅速风化，转变为无水白色粉末。用于制硫化钠( $\text{Na}_2\text{S}$ ，其九水合物又称硫化碱或臭碱)、纸浆、玻璃、水玻璃、瓷釉、洗衣粉、制革等，并用做缓泻剂和钡盐中毒的解毒剂等。

## 钾 肥

钾素肥料的简称，是以钾为主要养分的肥料。主要有氯化钾、硫酸钾、草木灰、钾石盐( $\text{KCl} \cdot \text{NaCl}$ )、窑灰钾肥等。大都能溶于水，肥效较快，并能被土壤吸收，不易流失。磷酸二氢钾( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )是一种复合高效的肥料，又可用于制药物或焙粉。钾肥施用适量时，能使作物茎秆长得坚实，防止倒伏，促进开花结实，增强抗旱、抗寒、抗病虫害的能力。

## 碱金属

周期表 A 族元素，包括锂(Li)、钠(Na)、钾(K)、铷(Rb)、铯(Cs)和钫(Fr)等 6 种元素。其中钫(Fr)为放射性元素。它们的氢氧化物均易溶于水，都有强碱性，因而得名；都以化合态(钫除外)存在于自然界中。原子的内电子层都是稳定结构，最外层只有 1 个电子( $ns^1$ )，易于失去而成+1 价离子，没有变价。单质的密度小，是金属里最轻的。熔点低，硬度小，导电性强。当表面受到光照射时，电子可以从表面脱出，用铷和铯制造光电管就是利用这一性质。碱金属能在常温下形成液态的合金，例如钾钠合金(熔点-12.3 )、钠汞齐(熔点-36.8 )。前者具有高的比热，用做核反应堆的冷却剂；后者是一种活泼的还原剂，常用于有机合成中，由于这种合金可能缓和钠作用的激烈程度，比纯钠更适用。碱金属表现出最典型的金属化学性质，化学性质非常活泼，具有强还原性。金属性随着原子序数的增加、原子半径增大而增强。碱金属及其挥发性化合物在灼烧时，发生特征的颜色。

## 碱金属元素单质、化合物的相似性和递变性

碱金属均属于轻有色金属，其原子具有相同的价电子层结构(参看碱金属)，性质相似，如单质的密度、硬度、熔点都很低，导电性强；它们都能与水、氧、硫、磷、卤素等非金属直接反应而生成  $M^+$  的各种化合物。但由于碱金属的原子半径一般都随着电子层数的增多而增大，它们的化学活泼性，如化学反应激烈程度，随核电荷数增多而加强。钠和钾在空气中微热就可燃烧，钠生成过氧化钠( $Na_2O_2$ )，钾生成超氧化钾( $KO_2$ )，铷和铯在室温下就会自燃生成超氧化物。碱金属氧化物跟水反应， $Li_2O$  反应很慢， $Na_2O$ 、 $K_2O$  反应快， $Rb_2O$ 、 $Cs_2O$  反应很快、会发生燃烧甚至爆炸；所生成的对应的水化物，均为强碱，碱性依次增强。又如金属单质跟水反应，锂反应较慢，钠很激烈，钾燃烧，铷和铯则发生爆炸。碱金属与所有化学试剂(除氮外)作用的活泼性都是从锂到铯递增。

## 氮族元素

周期表中 A 族元素，包括氮、磷、砷、锑、铋 5 种元素。其最外层电子中 5 个电子皆为价电子，最高可呈+5 价。随原子半径的增大，由氮、磷是典型非金属过渡到有较显著的金属性的非金属元素砷，再后则为两性金属锑和铋，体现了非金属性渐弱金属性渐强的递变性。单质的颜色开始时较深，其后与金属区接近处又渐为金属色，如灰色的砷，银白色的锑和银白微红色的铋。密度由小渐大，熔点  $N_2$  很低，磷则升高，砷更高，但至锑、铋则皆为易熔金属，铋更低。单质的氧化性渐弱，还原性渐强，总体还原性占优势如磷、砷皆以还原性为主，锑、铋只体现还原性，其气态氢化物  $NH_3$ 、 $PH_3$ 、 $AsH_3$  的稳定性渐弱，毒性加强。而其水溶液如氨水为弱碱性，与 A、A 的气态氢化物不同。其最高氧化物水化物的酸性渐弱， $HNO_3$  为强酸， $H_3PO_4$  是中强酸， $H_3AsO_4$  很弱。锑铋的最高氧化物的水化物呈两性。本族的特殊物质性质如氨的熔沸点和水溶性比同族非金属氢化物高； $N^{3-}$ 、 $P^{3-}$  皆不能存于水溶液等。



## 氮气的物理性质

无色无味气体，标准状况下密度 1.2506 克/升，液氮 0.8081 克/厘米<sup>3</sup>。沸点 -195.8 ，熔点 -209.86 ，难液化在水里溶解度很小，20 时 1 体积水仅溶解 0.0155 体积 N<sub>2</sub>。空气溶入水的 O<sub>2</sub> 比 N<sub>2</sub> 多，升温使溶于水的空气逸出其含氧量高于普通空气。

## 氮气的化学性质

氮元素是相当强的非金属，次于氟、氧、氯居第四位。 $N_2$  分子中 N—N 键能很大，达 949 千焦/摩，不易解离为原子，而表现出稳定性和化学惰性。高温或放电条件下分子中化学键破坏而能与多种元素反应。如与  $H_2$  生成  $NH_3$ ；与 Mg、Ca、Sr、Ba 生成氮化物  $Mg_3N_2$ 、 $Ca_3N_2$  等；与  $O_2$  在电弧高温下少量反应生成 NO，此反应吸热是  $O_2$  与其它物质化合时所罕见的。对碱金属只易与锂化合生成氮化锂  $Li_3N$ ，却不与其它碱金属直接反应。

## 氮气的用途

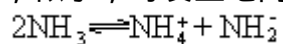
主要用于合成氨以制化肥、硝酸、炸药、塑料等。 $N_2$ 不支持呼吸而用于保存粮食、水果，以减缓代谢，使害虫缺氧死亡。 $N_2$ 稳定而用做某些金属焊接时的保护气；于白炽灯内充入一定量 Ar、 $N_2$ 混合气能防止钨丝氧化和减慢挥发。液氮可达-196 低温，用做深度致冷剂，医疗上用液氮冻掉疣瘤，科研上也常用液氮致冷。

## 氮的固定(生物固氮)

将空气里游离态氮转化为化合态氮的过程。人工固氮如合成氨、电弧法制 NO、电炉法制氰氨化钙( $\text{CaCN}_2$ )等。生物固氮是微生物或某些藻类体内的固氮酶(含铁、钼的蛋白质类)把空气中  $\text{N}_2$  转化为可供植物利用的化合态氮的过程。如大豆、花生根部的根瘤菌可把  $\text{N}_2$  转化为铵态氮,且在常温常压下进行。估算每年生物固氮量约 2 亿吨,是世界化肥产量的 4~5 倍。化学模拟生物固氮的研究虽有进展,但仍未到实用阶段。

## 氨的物理性质

无色气体，具特有的强烈刺激性气味。密度 0.771 克/升(标准状况)，比空气轻。沸点-33.35℃，高于同族氢化物 PH<sub>3</sub>、AsH<sub>3</sub>，易液化。熔点-77.7℃。液氨密度 0.7253 克/厘米<sup>3</sup>，气化热大，达 23.35 千焦/摩，是常用的致冷剂。极易溶于水，20℃ 时 1 体积水能溶解 702 体积 NH<sub>3</sub>。充满 NH<sub>3</sub> 的烧瓶做喷泉实验后得到的稀氨水约为 0.045 摩/升。用水吸收 NH<sub>3</sub> 时要用“倒放漏斗”装置以防倒吸。液氨是极性分子，似水，可发生电离：

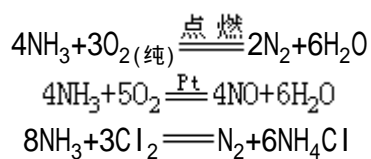


也能溶解一些无机盐如 NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>、AgI。空气中允许 NH<sub>3</sub> 最高含量规定为 0.02 毫克/升，若达 0.5% 则强烈刺激粘膜，引起眼睛和呼吸器官的症状。

## 氨的化学性质

较为稳定，具碱性和弱还原性。常见反应如体现其碱性的加合，与水生成  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ，在溶液中有平衡关系：

$\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$  是弱碱；与酸则生成对应的铵盐，属于  $\text{NH}_3$  的孤对电子与  $\text{H}^+$  空轨道形成配位键的加合。此外  $\text{NH}_3$  的孤对电子与某些物质形成配位键而使氨水能溶解  $\text{AgCl}$ 、 $\text{AgBr}$ 、 $\text{AgOH}$ 、 $\text{Ag}_2\text{O}$  生成  $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+$ ，也能溶解  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  生成  $\text{Cu}(\text{NH}_3)_2$  的深蓝色可溶物。利用  $\text{NH}_3$  与  $\text{HCl}$  相遇出白烟（微粒  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ），可彼此互验。氨的弱还原性表现于如对  $\text{O}_2$ 、 $\text{Cl}_2$ 、 $\text{Br}_2$ 、 $\text{HClO}$  等的反应，皆将  $\text{NH}_3$  中  $\overset{-3}{\text{N}}$  氧化为更高价态，常见反应有：



## 氨的用途

大量用于生产化肥：尿素  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 、硫酸铵  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ，硝酸铵  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  等。生产纯碱用  $\text{NH}_3$  与  $\text{NaCl}$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{CO}_2$  反应，副产品是氯化铵  $\text{NH}_4\text{Cl}$  化肥。氨还用于生产合成材料如聚氨酯塑料、丁腈橡胶，粘合剂，染料和一些药品和医药。氨氧化法可生产硝酸用于制造炸药和染料。10%的氨水可用于减轻皮肤上蚊虫叮咬的伤痛，其刺激气味可用于使处于麻醉状态和昏厥状态的人苏醒。

## 合成氨

用  $N_2$ 、 $H_2$  直接在一定条件下化合为  $NH_3$ 。工业合成氨的方法是 19 世纪初德国化学家哈伯(FritzHaber, 1868—1934)发明的。关键反应为：

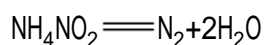


最适条件是以铁触媒为催化剂在高温、高压下反应，温度  $400 \sim 550$  ，过高则化学平衡强烈向左移动，过低则反应速度过慢，降低单位时间氨产量，此温度也是催化剂活性最强的温度范围。压强高平衡右移有利于  $NH_3$  的生成，但过高则给设备和技术条件造成困难，常以  $150 \sim 300$  兆帕为宜，过低则平衡右移微弱致使  $NH_3$  产量降低。工业上以空气、水、煤、天然气、石化产品等首先制得  $N_2$ 、 $H_2$ ，经严格提纯(防止催化剂中毒)，给  $N_2:H_2=1:3$ (体积)的混合气体施以高压，通入装有铁触媒的合成塔，在高压和  $400 \sim 550$  条件下反应，仅有部分  $N_2$ 、 $H_2$  合成  $NH_3$ 。再导出冷却分离出  $NH_3$  后将未反应的  $N_2$ 、 $H_2$  循环使用，以提高原料利用率降低成本。若以焦炭、水、空气为原料时，理论上用于计算的关系式为  $3C \sim 4NH_3$ 。



## 铵盐的性质

皆为晶体，易溶于水，常伴有吸热现象。在水溶液中水解呈弱酸性(除  $\text{NH}_4\text{CH}_3\text{COO}$  等外)，有反应  $\text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{H}^+$  发生。与碱共热则出  $\text{NH}_3$ ，是铵盐的重要检验方法之一。热分解情况与对应的酸有关。一般非氧化性酸的铵盐热分解产物为  $\text{NH}_3$  与对应酸，如  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ， $\text{NH}_4\text{Br}$ ， $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$  等。氧化性酸的铵盐热分解比较复杂，产物有  $\text{N}_2$  或其氧化物出现，如：



强酸铵盐与弱酸铵盐相比，弱酸铵盐的稳定性差，如  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  在常温就缓慢分解成  $\text{NH}_3$ 、 $\text{CO}_2$  和水蒸气而损失。

## 硝酸的物理性质

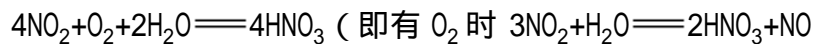
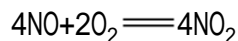
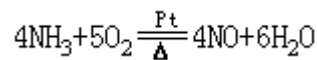
无色液体，密度 1.5027 克/厘米<sup>3</sup>，熔点—42 ，沸点 83 ，不断挥发出来的蒸气有毒性和腐蚀性气味，易溶于水，属于挥发酸。常用者为 68% 溶液，无色，密度 1.41 克/厘米<sup>3</sup>，约相当于 15 摩/升。沸点 120.5 。93% HNO<sub>3</sub> 因溶入 NO<sub>2</sub> 而呈黄至棕黄色，开盖则逸出棕色浓雾，叫发烟硝酸。应密闭保存于棕色玻璃塞瓶中，不可用无色试剂瓶和橡皮塞，以防见光分解，挥发和腐蚀橡皮。

## 硝酸的化学性质

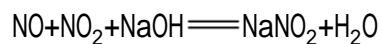
$\text{HNO}_3$  具强酸性，强氧化性，浓硝酸能与除 Au、Pt、Ta、Rh、Ir 等很不活动金属外的所有金属反应。与冷浓  $\text{HNO}_3$  呈钝态的金属有 Fe、Al、Cr；生成可溶性硝酸盐与  $\text{NO}_2$ 。(有时杂有 NO) 的有 Cu、Ag、Hg 等；生成含氧酸或氧化物的有 Sn、Sb、W、Mo 等。对非金属可把 C、S、P 氧化为  $\text{CO}$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{H}_3\text{PO}_4$ 。稀硝酸氧化性比浓硝酸弱。因浓度不同还原产物可出现 NO、 $\text{N}_2\text{O}$ 、 $\text{NH}_4^+$  等。个别杂有  $\text{H}_2$ 。实际上  $\text{HNO}_3$  还原产物是不单一的，只是以某种为主，如 6~8 摩/升  $\text{HNO}_3$  还原产物以 NO 为主。

$\text{HNO}_3$  不能与 HI、 $\text{H}_2\text{S}$ 、HBr、 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{SO}_3^{2-}$  等有明显还原性的物质共存，因条件不同可将它们氧化为  $\text{I}_2$  或  $\text{HIO}_3$ 、S 或  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{Br}_2$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  等。对有机物，浓硝酸与之发生硝化或硝酸酯化反应。 $\text{HNO}_3$  在光、热条件下分解，也能与木屑、碎布等可燃性有机物反应甚至燃烧，或自燃。保存时应使用棕色玻璃寒瓶，远离火源和可燃有机物。浓硝酸与浓盐酸以体积比 1:3 混合而成“王水”能溶解 Au、Pt 等，王水不稳定，要现用现配。

**硝酸的工业制法** 历史上曾用智利硝石与浓硫酸共热制取。现改用氨氧化法制取，其法以氨和空气为原料，用 Pt—Rh 合金网为催化剂在氧化炉中于 800 进行氧化反应，生成的 NO 在冷却时与  $\text{O}_2$  生  $\text{NO}_2$ ， $\text{NO}_2$  在吸收塔内用水吸收在过量空气中  $\text{O}_2$  的作用下转化为硝酸，最高浓度可达 50%。制浓硝酸则把 50%  $\text{HNO}_3$  与  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  或浓  $\text{H}_2\text{SO}_4$  蒸馏而得。主要生产阶段的反应为：



计算时关系式为  $\text{NH}_3 \sim \text{HNO}_3 + \text{NO}$ 。硝酸厂尾气中氮的氧化物 > 0.4% (体积) 需用碱液吸收制成  $\text{NaNO}_2$ ：



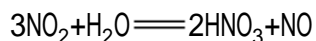
否则，严重污染大气。

## 一氧化氮

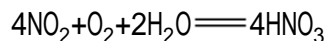
NO，无色气体，密度 1.2402 克/升(标准状况)，液态 NO 为蓝色，密度 1.2906 克/厘米<sup>3</sup>，熔点—163.6 ，沸点—151.8 。微溶于水，20 1 体积水可溶解 0.0471 体积。与空气接触则立即氧化为 NO<sub>2</sub>。但此反应在温度低时速度快，温度高时反应速度变慢，与一般反应速度与温度的关系不同。NO 也具氧化性，在加热时与铜反应生成 CuO 和 N<sub>2</sub>。工业上用氨氧化法制取，个别水电发达地区曾用电弧法使 N<sub>2</sub>、O<sub>2</sub> 反应制取但转化率很低，能耗很大。实验室用稀硝酸与铜反应制取，开始稍加热使反应起动，收集则必须用排水集气法。NO 是大气污染物之一，能与血红蛋白结合，严重时有中毒现象。

## 二氧化氮

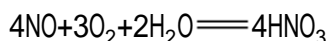
$\text{NO}_2$ ，棕红色气体，密度 1.4494 克/升(标准状况)，熔点 $-11.20$ ，沸点 21.2。 $\text{NO}_2$ 与 $\text{N}_2\text{O}_4$ 有平衡关系， $2\text{NO}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4 + Q$ ，冷却或加压则平衡右移。常温时 $\text{NO}_2$ 中有一定量 $\text{N}_2\text{O}_4$ ，而使实测的分子量比由 $\text{NO}_2$ 分子式算出的数值稍大。具氧化性，能与热铜反应生成 $\text{N}_2$ 与 $\text{CuO}$ ，也能使KI—淀粉湿试纸变蓝，对橡胶腐蚀严重。与水反应为：



在氧气存在时则反应为：



有关 $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{O}_2$ 作用常用的反应式(除上述外)还有：



据此若 $\text{NO}_2 : \text{O}_2 = 4 : 1$ (体积)的气体通入水中理论上应完全消失，若 $\text{NO} : \text{NO}_2 : \text{O}_2 = 1 : 1 : 1$ (体积)的混合气体通入水中也应完全消失。 $\text{NO}_2$ 也是大气污染物。实验室用浓 $\text{HNO}_3$ 与 $\text{Cu}$ 反应制取。

## 硝酸盐的性质

皆为易溶于水的晶体，结晶水合物的颜色由阳离子而定，一般皆易溶于水。常温下除  $\text{AgNO}_3$  等少数见光易分解外，其它都较稳定。其热分解产物与阳离子有关，可大致参照金属活动性分为： $\text{Mg}$  以前金属硝酸盐热分解成亚硝酸盐与  $\text{O}_2$ ； $\text{Mg} \sim \text{Cu}$  间金属硝酸盐热分解产物为氧化物、 $\text{O}_2$  与  $\text{NO}_2$ ；位于  $\text{Cu}$  以后的产物则为单质、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{O}_2$ 。特殊情况如  $\text{LiNO}_3$  分解为  $\text{Li}_2\text{O}$  等而不是  $\text{LiNO}_2$ ， $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$  分解为  $\text{MnO}_2$ 、 $\text{NO}_2$  不出  $\text{O}_2$ 。加热时硝酸盐中  $\text{N}^{+5}$  的氧化性显著，如黑火药中的  $\text{KNO}_3$  为氧化剂，在点燃时与  $\text{C}$ 、 $\text{S}$  反应而爆发。在溶液里硝酸盐氧化性可因加酸而增强，如  $\text{FeSO}_4$  与  $\text{KNO}_3$  溶液混合  $\text{NO}_3^-$  并不氧化  $\text{Fe}^{2+}$ ，但加硫酸，则很快反应生成  $\text{Fe}^{3+}$  使溶液变黄。初步检验硝酸盐的方法是，将待测液蒸发浓缩，加铜与浓硫酸共热若有棕红色  $\text{NO}_2$  气体产生，则原溶液中有  $\text{NO}_3^-$ 。

## 亚硝酸钠

$\text{NaNO}_2$ ，苍黄色或无色至白色晶体，熔点 271 ，在 320 分解。极易溶于水，难溶于乙醇、乙醚。在空气中逐渐吸收  $\text{O}_2$  而转化为  $\text{NaNO}_3$ 。所以要密闭保存。有毒性，施工防冻用“工业盐”主要成分是  $\text{NaNO}_2$ ，要严格与食盐区别以防中毒。 $\text{NaNO}_2$  中的氮呈 +3 价，属于中间价态，其溶液遇酸化的 KI 淀粉试液则变蓝，说明  $\text{NO}_2^-$  有氧化性；酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液遇到  $\text{NaNO}_2$  则紫色褪去，说明  $\text{NaNO}_2$  有还原性。 $\text{NaNO}_2$  主要用于防锈剂，化工原料和腌肉制品的添加剂。工业上可用铅与  $\text{NaNO}_3$  共热制取，也来自硝酸厂尾气处理 ( $\text{NO}_2 + \text{NO} + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{NaNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ) 的副产品。

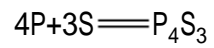
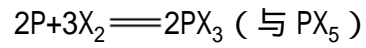
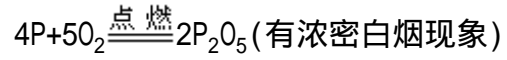
## 磷的物理性质

白磷为白色蜡状有蒜味的固体，放置渐变黄又称黄磷，极毒。密度 1.82 克/厘米<sup>3</sup>，熔点 44.1 ，沸点 280 ，难溶于水易溶于 CS<sub>2</sub> 等非极性有机溶剂。红磷为紫红或略棕的红色粉末。密度 2.34 克/厘米<sup>3</sup>，难溶于水和 CS<sub>2</sub>，但略溶于无水乙醇，无毒。加热升华。黑磷为黑色有光泽的固体，密度 2.70 克/厘米<sup>3</sup>，难溶于水和有机溶剂。



## 磷的化学性质

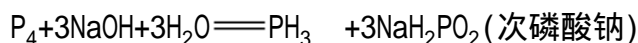
弱非金属，易燃，难与氢气直接化合。在一般反应中表现为还原性。如：



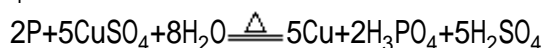
能溶于强碱发生歧化反应生成磷化氢和次磷酸盐(如  $\text{KH}_2\text{PO}_2$ )。三种同素异形体中以白磷为最活泼，红磷次之，黑磷更次之。

## 白磷(黄磷)

$P_4$ ，白色蜡状具大蒜气味的固体，放久变黄。极毒(成人误服 50 毫克/千克可致死)。密度 1.82(20 )克/厘米<sup>3</sup>，熔点 44.1 ，沸点 280 ，难溶于水，溶于苯、乙醇，易溶于  $CS_2$ 。在空气中可发绿色磷光。易自然，着火点仅 34 ，必须贮存在水中(切割时也应在水下进行)。化学活泼性比红磷大。以还原性为主，与卤素、硫、氧反应时皆为还原剂。在强碱中能发生歧化反应：



用此法可制  $PH_3$  但副产物为自然的联磷  $P_2H_4$ ，而制得的  $PH_3$  也能自燃。白磷在常温下可以与  $CuSO_4$  溶液发生反应：



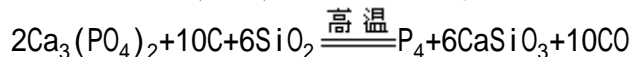
如不小心把白磷沾到皮肤上，用  $CuSO_4$  溶液冲洗即利用这一反应。加热时反应变为：



反应式中 11P 里的 6P 被氧化，5P 被还原。使  $15Cu^{2+}$  还原为  $15Cu^{+}$  的为

15 电子，需 6P 中的 3P 提供；另 3P 则提供 15 电子使生成  $5P^{-3}$ 。白磷

主要用于生产磷酸、三氯化磷、三氯氧磷( $POCl_3$ )和五硫化二磷等，供农药生产使用。少量白磷用于生产红磷和磷酐，军事上用于烟幕弹，曳光弹、信号弹、燃烧弹。一般用磷矿粉、砂、焦炭于电炉中制取：



白磷为制红磷与黑磷的原料，隔绝空气加热则缓缓转化为红磷，在较高温(220 )和高压条件下则渐渐转变为黑磷。白磷为正四面体分子，由四个磷原子构成，键角为  $60^\circ$ ，与五原子构成的正四面体分子键角  $109^\circ 28'$  不同。

## 红 磷(赤磷)

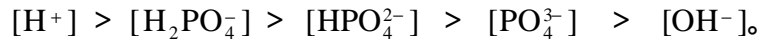
紫红或略带棕色的无定形粉末，有光泽。密度 2.34 克/厘米<sup>3</sup>，加热升华，但在 43 千帕压强下加热至 590 可熔融。气化后再冷凝则得白磷。难溶于水及 CS<sub>2</sub>，乙醚、氨等，略溶于无水乙醇，无毒无气味。化学活动性比白磷差，不发磷光在常温下稳定，难与氧反应。以还原性为主，200 以上着火。与卤素、硫反应时皆为还原剂。用于生产安全火柴、有机磷农药、制磷青铜等。

## 磷的用途

参看白磷、红磷。

## 磷 酸

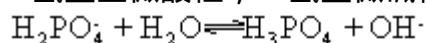
$\text{H}_3\text{PO}_4$ ，无色晶体，密度 1.834 克/厘米<sup>3</sup>，熔点 42.35 ，于 213 失水成焦磷酸  $\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ 。吸湿、潮解、易溶于水，商品磷酸为 85% 粘稠水溶液，密度 1.7 克/厘米<sup>3</sup>，相当于 15 摩/升，中强酸，浓者导电率不强，随稀释导电率渐大至 40 ~ 45% 达最大值，继续稀释导电率减弱。于水中分三步电离，逐级变难。故水溶液中离子浓度顺序为：



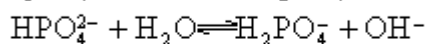
与碱性物质的  $\text{NaOH}$ 、 $\text{NH}_3$  等反应时，因碱量不同而生成正盐，一氢盐，二氢盐。设  $n_a$  为  $\text{H}_3\text{PO}_4$  物质的量， $n_b$  为  $\text{NaOH}$  物质的量则  $n_b/n_a = 1$  生成  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ， $1 < n_b/n_a < 2$  生成  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  与  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  混合物， $n_b/n_a = 2$  生成  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ， $2 < n_b/n_a < 3$  生成  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ 、 $\text{Na}_3\text{PO}_4$  混合物， $n_b/n_a = 3$  生成  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ 。上述反应另外产物为水。磷酸主要用于钢管磷化、铝的阳极氧化、制取磷酸盐、生产青霉素时的酸碱度调节、食用酸性调味剂等。高纯磷酸用白磷燃烧产物  $\text{P}_2\text{O}_5$  与水反应制取，粗制品可用磷矿粉与硫酸反应制得。

## 磷酸盐

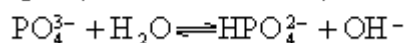
磷酸的盐类。皆为固体，溶解性按正盐、一氢盐、二氢盐依次渐增。其钠或钾盐的水解，其二氢盐呈微酸性，一氢盐微碱性，正盐碱性，



( $\text{H}_3\text{PO}_4$  电离趋势  $>$   $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  水解趋势)



( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  电离趋势  $<$   $\text{HPO}_4^{2-}$  水解趋势)



( $\text{HPO}_4^{2-}$  电离趋势  $<$   $\text{PO}_4^{3-}$  水解趋势)

正盐遇酸视酸量不同可转化为磷酸、二氢盐或一氢盐；一氢盐与酸亦可转化为磷酸或二氢盐；二氢盐与强酸则有磷酸生成。磷酸酸式盐与不同量碱可转化为正盐或含氢更少的酸式盐。可知 $\text{PO}_4^{3-}$ 只存于碱性环境，而 $\text{HPO}_4^{2-}$ 和 $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ 不能与强酸或强碱大量共存。由磷矿石或磷酸加工可制得磷酸盐。磷酸与足量碱生成正盐。磷酸与碱中 $\text{OH}^-$ 的物质的量比为1:2时生成一氢盐；为1:1时生成二氢盐。磷酸的正盐与酸反应生成不同磷化合物，主要代表物为 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 。如它与硫酸反应可生成 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ，是制高效磷肥重过磷酸钙的主反应。 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 与 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 反应的量的关系(设 $n_a$ 为 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 的物质的量， $n_b$ 为 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 物质的量)为： $n_a/n_b \geq 2$ 生成 $\text{CaHPO}_4$ 、 $n_a/n_b < 2$ 生成 $\text{CaHPO}_4$ 与 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 混合物、 $n_a/n_b = 2$ 生成 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 、 $n_a/n_b < 3$ 生成 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 与 $\text{H}_3\text{PO}_4$ 的混合物， $n_a/n_b \geq 3$ 生成 $\text{H}_3\text{PO}_4$ 。上述反应的另一生成物皆为 $\text{CaSO}_4$ 。磷酸盐主要用作化肥，如过磷酸钙、重过磷酸钙、磷矿粉等单一磷肥和磷酸铵类复合磷肥以及喷施的磷酸二氢钾类磷肥； $\text{Na}_3\text{PO}_4$ 是常用的洗涤剂 and 锅炉防垢剂；其它用途如二氢盐用于发酵粉和用磷矿与焦炭、石英于高温制取白磷等。

## 碳族元素

位于元素周期表中 A 族，包括碳 C、硅 Si、锗 Ge、锡 Sn、铅 Pb 五种元素。价电子层构型为  $ns^2np^2$ ，有 4 个价电子。碳、硅是非金属，锡、铅是金属，锗是半金属。特殊的结构使其获得电子与失去电子的能力几乎相等，往往通过电子的共用达到稳定结构，当与其它元素的原子化合时，主要形成共价型化合物。

游离态的碳以金刚石和石墨两种单质形式存在，硅以化合态存在于二氧化硅和硅酸盐中，锗、锡主要以氧化物形式存在(锗石  $GeO_2$ 、锡石  $SnO_2$ )、铅以硫化物存在居多。铅单质为金属晶体，其它四种元素的单质为原子晶体(石墨为层状晶体、白锡为金属晶体)。空气中的二氧化碳、地壳中各种碳酸盐、煤、石油里都含有大量的碳，脂肪、糖类、蛋白质及其它有机物都是含碳的化合物。碳和锡都有同素异形体(金刚石、石墨和碳-60，灰锡和白锡等)。

本族元素随着原子序数的增加，电子层数逐渐增加，原子核对外层电子的引力逐渐减弱，非金属性逐渐减弱(得电子能力减弱)，金属性逐渐增强(失电子能力增强)。化学性质差异很大。

1. 碳可以跟浓硫酸、硝酸反应，被氧化成二氧化碳，不与盐酸作用。硅不跟盐酸、硫酸、硝酸作用，只与氢氟酸反应。锗不和稀盐酸、稀硫酸反应，但能被浓  $H_2SO_4$ 、浓  $HNO_3$  氧化。锡和稀盐酸、稀  $H_2SO_4$  反应，生成低价锡  $Sn(II)$  的化合物；跟浓  $H_2SO_4$ 、浓  $HNO_3$  反应生成高价锡  $Sn(IV)$  的化合物。铅跟盐酸、硫酸、硝酸都能反应被氧化成  $Pb^{2+}$ 。

2. 跟碱溶液反应的有硅和锡，如生成  $SiO_3^{2-}$ ，放出氢气，表明锡不完全是金属性的。

3. 在加热时都能跟氧反应，被氧化成  $CO_2$ 、 $SiO_2$  和  $PbO$  等。

4. 跟硫、氯共热生成相应的高价氯化物和硫化物，铅则生成  $PbS$  和  $PbCl_2$ 。

5. 碳、硅跟金属共热生成碳化物和硅化物，锡、铅与金属形成合金。都不能直接与氢化合，其氢化物是间接制得的。

## 金刚石和石墨

是碳的同素异形体，均属原子晶体，石墨为层状晶体，金刚石是若干正四面体结构形成的网状晶体。它们在有足量氧气存在下(密闭容器中)加热，都能燃烧生成二氧化碳。若隔绝空气加热金刚石，则它能转化为石墨并放热。当把石墨加热至 2000 以上，并在高压、催化剂存在时它又可以转变为金刚石。

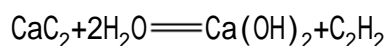
它们都是碳原子间以非极性共价键相互结合起来的“巨型分子”。金刚石中 C—C 键键能大，硬度大、熔点高(3570 )，不存在自由电子，不能导电。石墨中碳原子排成层状结构，层与层之间以范德华力松弛地结合，不牢固，可滑动，具有滑腻感；由于每个碳原子还有 1 个 p 电子成为自由电子在层内流动，因此沿着层的方向能够导电，并有金属光泽；由于层间距离较大，密度较小，结合力脆弱，因此质软，并可呈鳞片状脱落。结构不同，物理性质差别很大。石墨的密度为  $2.25\text{g/cm}^3$ ，金刚石的密度约为  $3.5\text{g/cm}^3$ ；金刚石是无色透明晶体，折光性强，石墨为灰黑色晶体，不透明。



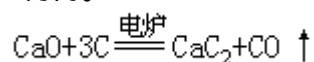
## 碳化钙

化学式为  $\text{CaC}_2$ ，结构式为  $\text{Ca} \begin{array}{c} \diagup \text{C} \\ \parallel \\ \diagdown \text{C} \end{array}$ ，属离子型化合物。工业品呈灰色、

黄褐色或黑色的块状固体，纯品为无色晶体(含  $\text{CaC}_2$  较高的是紫色)。密度  $2.22 \text{ 克/厘米}^3$ ，熔点  $447$ 、沸点  $2300$ ，遇水立即发生激烈反应，生成乙炔，并放出热量。



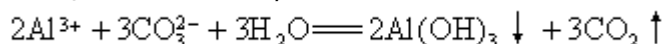
因电石中常含有砷化钙( $\text{Ca}_3\text{As}_2$ )、磷化钙( $\text{Ca}_3\text{P}_2$ )等杂质，与水作用时同时放出砷化氢( $\text{AsH}_3$ )、磷化氢( $\text{PH}_3$ )等有毒气体，因此使用由电石产生的乙炔有毒(须通过浓  $\text{H}_2\text{SO}_4$  和重铬酸钾洗液除去)。  $\text{CaC}_2$  能导电，纯度越高，导电越易。焦炭和生石灰在电炉中反应制得。



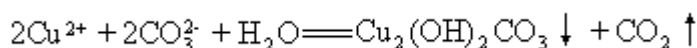
用于制取乙炔气、氰化钙( $\text{CaCN}_2$ )和有机合成的重要原料，制造石灰氮肥料、金属切割焊接用乙炔气等。贮存在阴凉、通风、干燥处，严格防水、防潮(它极易吸收空气中水分)，应与可燃物隔离存放。

## 碳酸盐

碳酸是二元酸，形成正盐和酸式盐。除钾、钠、铵的碳酸盐和钾、钠、铵、镁、钙的酸式碳酸盐外，其余的盐都不溶于水。溶于水的碳酸盐和酸式碳酸盐都易水解，其水溶液呈碱性。所以当碳酸盐溶液与某些金属离子(如  $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ )作用，若这些金属的氢氧化物溶解度小于它的碳酸盐的溶解度时，就得不到这些金属离子的碳酸盐，而只能得到相应的氢氧化物的沉淀。



若某些金属的氢氧化物的溶解度和它的碳酸盐的溶解度差不多，就会得到碱式碳酸盐。



$\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Pb}^{2+}$ 、 $\text{Hg}^{2+}$ 等与碳酸盐溶液的反应跟  $\text{Cu}^{2+}$ 类似。仅  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Ba}^{2+}$ 、 $\text{Hg}^{2+}$ 等与  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 溶液作用生成碳酸盐沉淀(因这些金属的碳酸盐溶解度远小于其氢氧化物)。

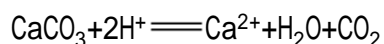
碳酸钠、碳酸钙、碳酸镁、碳酸钾等与二氧化碳和水作用都能生成溶于水的酸式碳酸盐。检验  $\text{CO}_2$ 的存在时，能使澄清的石灰水变浑浊，即产生白色  $\text{CaCO}_3$ 沉淀；如果通入  $\text{CO}_2$ 时间长了，亦即通入  $\text{CO}_2$ 的量多了，则得不到白色碳酸钙沉淀，而生成能溶于水的酸式碳酸钙。

<sup>32232</sup>自然界中的饮用水里含很少量的  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ，地下水中，尤其是泉水里含  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 的量较多，并溶有少量的  $\text{CO}_2$ 。石灰岩的巨石(象大理石、石灰石、白垩等方解石类的碳酸盐)及碎块长年累月受到含  $\text{CO}_2$ 水流的作用、浸泡，因水的冲击，产生许多细小的  $\text{CaCO}_3$ 颗粒，它渐渐地溶解成石灰岩溶洞。市售矿泉水来源于山区奥陶系石灰岩与白垩系火山喷发岩断层接触带部位的泉水，含一定量的碳酸氢钙及多种对人体发育必需的微量元素，促进人体新陈代谢。升温使酸式碳酸盐分解，放出  $\text{CO}_2$ 。



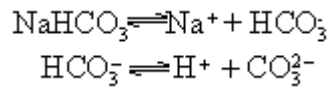
钟乳石、石笋的产生是石灰岩溶洞中的天然水，受地热的作用和气候变化的影响， $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 分解析出  $\text{CaCO}_3$ 细小颗粒，多年沉积而成。水垢的形成主要原因是水受热蒸发时，水中所含碳酸氢盐受热分解，生成难溶的碳酸盐及所含各种盐类不断浓缩，达到饱和后即析出结晶。酸式碳酸盐的热稳定性比碳酸盐要差得多。大多数碱金属的碳酸盐加热至熔融也不分解，其它碳酸盐  $\text{MgCO}_3$ 、 $\text{CaCO}_3$ 、 $\text{ZnCO}_3$ 、 $\text{PbCO}_3$ 、 $\text{Ag}_2\text{CO}_3$ 等受热时出现碳氧键断裂，分解为金属氧化物和二氧化碳。

所有碳酸盐和酸式碳酸盐与酸作用都能放出  $\text{CO}_2$ ，这种性质用来检验碳酸盐和酸式碳酸盐(包括  $\text{CO}_3^{2-}$ 和  $\text{HCO}_3^-$ )的存在及用于实验室中制取  $\text{CO}_2$ 。

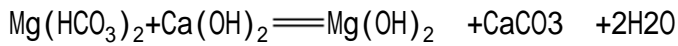
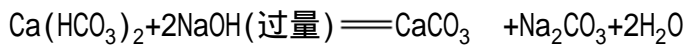
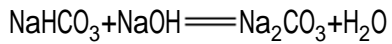


碳酸钠用于玻璃、肥皂、造纸、精炼石油等工业及食品加工。碳酸钾可用做化肥，碳酸钙用于炼铁、制水泥及建筑业。

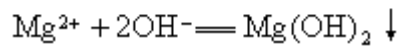
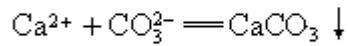
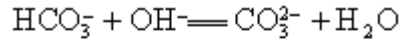
酸式碳酸盐是弱酸的酸式盐，在水溶液中分步电离



它能跟碱溶液反应生成正盐(碳酸盐)。



这里存在着中和反应和生成沉淀的反应。



软化水的一般方法是将生石灰制成石灰乳加入水中以消除水的暂时硬度。这种方法就是依据酸式碳酸盐  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 、 $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  遇石灰乳后  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  离子从水中沉淀出来，并促使胶体粒子凝聚。但此法不能彻底使水软化，只适于不要求高度软化的情况。用纯碱和石灰乳的混合液作水的软化剂，能使水彻底软化，消除水的永久硬度。

## 二氧化硅的物理性质

二氧化硅又称硅石，化学式  $\text{SiO}_2$ 。自然界中存在有结晶二氧化硅和无定形二氧化硅两种。

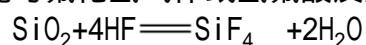
结晶二氧化硅因晶体结构不同，分为石英、磷石英和方石英三种。纯石英为无色晶体，大而透明棱柱状的石英叫水晶。若含有微量杂质的水晶带有不同颜色，有紫水晶、茶晶、墨晶等。普通的砂是细小的石英晶体，有黄砂(较多的铁杂质)和白砂(杂质少、较纯净)。二氧化硅晶体中，硅原子的4个价电子与4个氧原子形成4个共价键，硅原子位于正四面体的中心，4个氧原子位于正四面体的4个顶角上，整个晶体是一个巨型分子， $\text{SiO}_2$ 是表示组成的最简式不表示单个二氧化硅分子，仅是表示二氧化硅晶体中硅和氧的原子个数之比。

$\text{SiO}_2$ 中Si—O键的键能很高，熔点、沸点较高(熔点 1723 ，沸点 2230 )。

自然界存在的硅藻土是无定形二氧化硅，是低等水生植物硅藻的遗体，为白色固体或粉末状，多孔、质轻、松软的固体，吸附性强。

## 二氧化硅的化学性质

是酸性氧化物、硅酸的酸酐。化学性质很稳定。不溶于水也不跟水反应，不跟一般的酸起作用。能与氟化氢气体或氢氟酸反应生成四氟化硅气体。

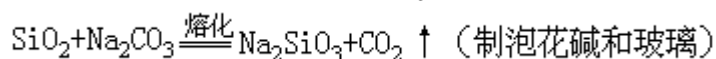
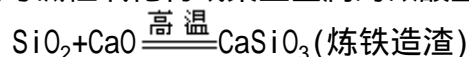


有酸性氧化物的其它通性，高温下能与碱(强碱溶液或熔化的碱)反应生成盐和水。



常温下强碱溶液与  $\text{SiO}_2$  缓慢地作用生成相应的硅酸盐。强碱溶液能腐蚀玻璃，故贮存强碱溶液的玻璃瓶不能用磨口玻璃塞，若采用玻璃塞(玻璃中含  $\text{SiO}_2$ )，会生成有粘性的硅酸钠，将玻璃瓶塞和瓶口粘结在一起。玻璃瓶内不能久放浓碱液。

高温下二氧化硅与碱性氧化物或某些金属的碳酸盐共熔，生成硅酸盐。

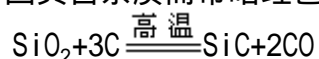


将此高温下熔融状态的硅酸钠降温、冷却，可得石英玻璃，它有良好的透过紫外线性能，可作水银灯罩、耐高温的化学仪器、石英坩埚和光学仪器等。

## 碳化硅

俗名金刚砂，化学式 SiC，无色晶体，含杂质时呈蓝黑色。结构与金刚石相似，每个硅原子被 4 个碳原子包围，每个碳原子被 4 个硅原子包围，形成“巨型分子”。硬度仅次于金刚石，密度为 3.217 克/厘米<sup>3</sup>，熔点约为 2700（分解升华）。化学性质稳定，高温时也不与氯、氧、硫、强酸反应，但能与碱反应。

高温下有还原性，使一些金属氧化物或硅酸盐还原成金属。1600 时 SiC 跟 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 反应得硅铝合金。将砂(二氧化硅)和焦炭的混合物，在电炉内加热至 2000 即可生成 SiC，因其含杂质而带暗红色。



用于制砂轮、砂纸、磨料、耐火砖等。其单晶可制电子器件。

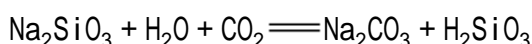
通常所说的金刚砂是磨料(粗的金刚石)、刚玉、碳化硅的总称。

## 硅 酸

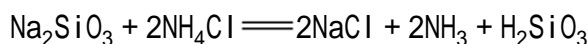
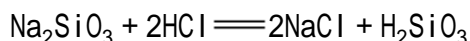
化学式  $\text{H}_2\text{SiO}_3$ ，实际是白色无定形二氧化硅的水合物，是不溶于水的二元弱酸，酸性比碳酸还弱。不溶于盐酸、硫酸，能溶于氢氟酸或氢氧化钠溶液。但它不能用二氧化硅和水作用得到，只能用可溶性硅酸盐与酸(包括碳酸)反应来制取。它很容易形成胶体溶液，制得的硅酸是胶冻状物质，沉淀析出。将其干燥脱水，变成白色透明多孔性的固体物质，一般称为硅胶(化学式  $m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ )具有多孔结构吸附力强，能吸收多种气体和蒸气，且吸湿量很大，是实验室常用的干燥剂、吸附剂。市售商品硅胶有球形和不规则形两种。将硅胶在氯化钴溶液中浸透，再经干燥，可利用氯化钴的颜色变化以指示其吸湿程度。无水氯化钴( $\text{CoCl}_2$ )是蓝色的，吸收水分以后的氯化钴是粉红色的(形成  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )。当硅胶的颜色由蓝色变为粉红色时，表明硅胶的吸湿能力减小，若将硅胶放入烘箱中烘干(温度控制在  $110^\circ\text{C}$ )，可恢复吸湿能力，由粉红色变为蓝色。

硅酸用于油脂和蜡的脱色及催化剂、气体吸附剂，密封玻璃瓶包装。硅胶作干燥剂。

硅酸盐硅酸的盐类，地壳中分布极广，是岩石(花岗岩)和土壤的主要成分，多数是晶体。可用二氧化硅跟碱性氧化物或碱跟碳酸盐一起加热熔融制得。只有钾、钠的硅酸盐是可溶于水的，由于它是强碱弱酸盐，溶于水后水解，使溶液显碱性。硅酸钠是可溶性硅酸盐中最常见的，其水溶液叫“水玻璃”，因强烈水解，溶液显强碱性，可代替烧碱使用，又称“泡花碱”。“水玻璃”是无色透明粘稠液体，比重 2.6、熔点  $1088^\circ\text{C}$ ，遇酸则分解(遇空气中的碳酸也能分解)而析出硅酸的胶状沉淀。“水玻璃”对普通玻璃有较大的腐蚀性，贮存时要密封，防止受潮，不能用带磨口玻璃塞的玻璃瓶(改用软木塞或橡胶塞的塑料瓶)。用时检查是否见到乳白色胶状沉淀产生，因久置的“水玻璃”其溶液吸收了空气中的  $\text{CO}_2$  发生反应：

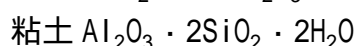
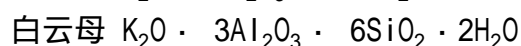
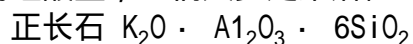


同时说明碳酸的酸性比硅酸强。向硅酸钠溶液中加入盐酸或氯化铵，也可析出硅酸胶体沉淀



含杂质的硅酸钠呈浅黄色或青灰色粘稠状液体。它有很大的实用价值，作耐火材料、粘结剂、洗涤剂，木材、织物经水玻璃浸泡后有防腐、不易着火的性能，水玻璃涂在蛋壳上可防止蛋类因细菌浸入而引起腐败，作蛋类防腐剂。

在自然界中的硅酸盐分布很广，如长石、云母、石棉、粘土、滑石、沸石等，种类繁多组成复杂，可看做是酸性氧化物( $\text{SiO}_2$ )和金属氧化物( $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 等)相结合的化合物，因此通常可用氧化物的组成式表示天然的硅酸盐，它们大多是难溶性的。



高岭土  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

石棉  $\text{CaO} \cdot 3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2$

滑石  $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

斜发沸石  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

丝光沸石  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

} 统称沸石

沸石经脱水处理，其晶体中形成许多孔洞和微孔道，有很大的表面积，很强的吸附能力。微孔道的孔径很小，跟一般物质分子的大小相近，比孔径小的分子能被吸附进去，比孔径大的分子不能进入，因此沸石可将不同大小的分子分离，起到筛选分子的作用，称为“分子筛”。分子筛的吸附性能还和被吸附分子的性质有关，一般容易吸附极性较强的分子，而不容易吸附极性较弱的或非极性分子。控制条件可以人工合成多种分子筛，它无毒、无腐蚀性，不溶于水和有机溶剂，可作催化剂的载体、离子交换剂等。硅酸盐的化学稳定性好、熔点高耐火性能好、机械强度高，是制造玻璃、陶瓷、耐火材料、水泥的原料。硅酸盐材料和金属材料、有机合成材料是现代三大类固体材料，生产硅酸盐材料的工业称硅酸盐工业。



## 硅酸盐工业

以硅酸盐为主要原料，经配料和高温处理制造出各种成品和材料的工业。由于工艺过程中的烧成或熔制工序都用窑炉作主要设备，故又称为窑业。如制造水泥、玻璃、陶瓷、耐火材料和搪瓷，以及耐高温材料、磨料等，均属于硅酸盐工业。硅酸盐工业各种产品的共同的反应原理是：酸性氧化物( $\text{SiO}_2$ )与碱性氧化物(ⅠA、ⅡA族的典型氧化物等)在高温反应生成硅酸盐。

用 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 作为酸性氧化物代替 $\text{SiO}_2$ ，则可生成铝酸盐； $\text{Al}_2\text{O}_3$ 作为碱性氧化物与 $\text{SiO}_2$ 反应，则生成铝硅酸盐。(参看水泥)。

## 水 泥

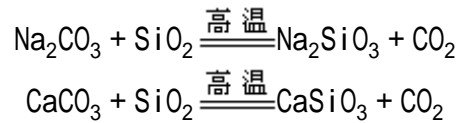
粉状矿物质的胶凝材料，与水等拌和后能在空气或水中逐渐硬化。按化学成分、原料和制法的不同分为：硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、磷酸盐水泥、高铝水泥、膨胀水泥、白水泥等。普通的硅酸盐水泥是用粘土(纯者是高岭土)、石灰石为主要原料,按一定比例混合在高温下煅烧制成。主要组成是：硅酸二钙( $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ )、硅酸三钙( $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ )、铝酸三钙( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ )、铁铝酸四钙( $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ )，还有未反应的游离的氧化钙(石灰石分解出来的)、氧化镁(由原料带入的碳酸镁分解来的)。为延缓水泥硬化时间、降低凝固速度，常加入少量(3%以下)石膏。水泥的凝结和硬化是一个复杂的物理化学过程，受构成水泥熟料的矿物成分本身特性而定。当与水掺和后，矿物遇水发生水解或水化反应而变成水合物，水化速度的快慢影响水泥的强度，铝酸三钙、硅酸三钙对水泥的凝结时间和早期强度起决定作用。水化物逐渐脱水、不断硬化，形成水泥石状固体，强度相当大。水泥是熟料块与适量石膏混合一起研磨制成的细粉。

水泥标号即水泥强度的等级。标号愈高，抗压强度愈高。

水泥、砂和水的混合物叫水泥砂浆，亦叫砖石粘合剂，再掺以碎石即叫混凝土，嵌入钢筋叫做钢筋混凝土，广泛用于建筑业。

## 玻 璃

是一种混合物，没有固定的熔点。普通玻璃是由纯碱( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )、石灰石( $\text{CaCO}_3$ )、砂粒( $\text{SiO}_2$ )按一定比例共熔制得。

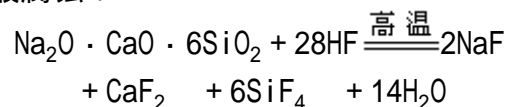


熔体过冷而成玻璃，它是固体状态的无定形体，质脆而透明。通常用二氧化硅、氧化钙、氧化钠来表示组成的成分，写作  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2$  表示钠玻璃。硅酸钾、硅酸钙和二氧化硅共熔，得熔点较高的钾玻璃，化学成分表示为  $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2$ 。制折光率较大的铅玻璃用硅酸钾、硅酸铅和二氧化硅混合共熔，其化学成分表示为  $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{PbO} \cdot 6\text{SiO}_2$ 。欲使玻璃带颜色，可向原料中加入金属氧化物。普通玻璃中因  $\text{FeO}$  存在而显浅绿色，因  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  存在而显黄色，因氧化钴( $\text{Co}_2\text{O}_3$ )存在而显蓝色，因氧化亚铜存在而显红色，因二氧化锡( $\text{SnO}_2$ )存在而显乳白色等。石英砂、纯碱、石灰石、长石等是制造玻璃的主要原料，还有以硼酸盐、磷酸盐、氟化物等原料为主及含钛、锆、锗、钒、铋等氧化物的特种玻璃。玻璃的用途不同，它的配料和处理过程也不同。如掺入铜、银、金、二氧化钛、二氧化锆在普通玻璃中，得到质硬、耐热性好、电绝缘性好、用来制造火箭、雷达玻璃罩、射流元件的微晶玻璃。掺有钕、镱等元素，可用于制造作激光器工作物质的均匀性和定向性好的激光玻璃。

玻璃浇制成空心或实心的玻璃砖块，坚固耐磨、外表美观，建筑上用做透光的墙壁、楼地面等。将普通玻璃逐渐加热(在高炉或电炉中)至接近软化点，经吹风急速均匀冷却而得钢化玻璃。它的机械强度大大提高，热稳定性好且不易破碎，碎裂时玻璃成圆钝角，不易伤人，用于车、船、飞机和建筑的窗户等。

在玻璃表面涂上一层金属或金属氧化物的透明导电薄膜，通电时能发热，这样就能制成“导电玻璃”。它用做运输工具驾驶室的前窗，防止水蒸气凝结遮蔽视线。不含或少含碱金属氧化物的玻璃叫无碱玻璃，用做绝缘或耐化学腐蚀的材料。

玻璃可被氢氟酸腐蚀：



金属通性在目前已发现的 109 种元素中，有 80 多种为金属元素。金属是一类晶体(参看金属晶体、金属键)，其中金属原子排列非常有规律。由于金属键的作用，使得金属具有一些相似的物理性质，如均呈现一种特有的金属光泽，除铜和金外，都是银白色，且不透明；有延性、展性，可以拉制成丝，压成片 and 箔，有受变应力而流动的性质；具有良好的导电性和导热性。这些区别于非金属的特性，仅在金属为固态和液态时才存在。在化学性质方面，由于多数金属元素原子的最外层电子数少于 3 个，某些金属原子(如铅、锡等)的最外层电子数虽然超过(或等于)4 个，但由于它们的电子层数较多，原子半径较大，在发生化学反应时，它们的价电子较易于失去或偏向于非金属元素的原子。故金属的最主要的共同的化学性质是易于失去外层的价电子变成

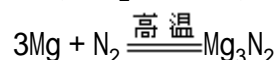
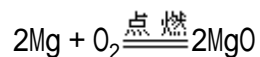
金属阳离子，表现出还原性。另一共同性质是：金属的氧化物及其对应的水化物，一般呈碱性，与酸反应生成盐。参看碱金属、镁等。

## 镁的物理性质

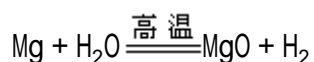
镁是银白色的金属，熔点 648.8 ，沸点 1107 ，高温下具有延展性。它的密度是 1.74 克/厘米<sup>3</sup>，很轻，不足铁的 1/4。硬度小，不能单独作为结构金属使用，而是制成合金。它可以跟铝、铜、锡、锰、钛、铍等金属元素形成多种轻质合金，它们的密度小，硬度和强度都比较大，是制造飞机、汽车、导弹、航天器、科学仪器的重要材料。

## 镁的化学性质

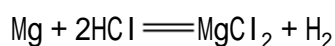
镁是第三周期 A 族元素，最外层电子是  $3s^2$ ，容易失去，因此它是比较活泼的金属元素，能跟非金属和酸等起作用。常温下镁在空气中极易氧化，生成一层致密的氧化膜，它能阻止镁继续氧化。在高温下，镁在空气中会发生燃烧，产生大量的热，放出眩目的白光，生成  $MgO$  和  $Mg_3N_2$ ：



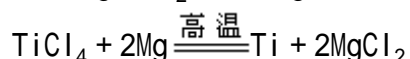
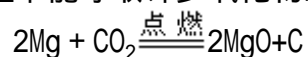
根据镁的这个性质，可以用镁制造照明弹和焰火。由于镁的表面常有一层保护膜，所以在常温下镁不与水起作用，但如将水加热至沸腾，则能缓慢地起作用；将镁置于高温的水蒸气中，能够迅速地反应，生成  $MgO$  和  $H_2$ 。



镁跟酸能迅速地反应，生成镁盐和放出  $H_2$ 。



镁具有强的还原性，在高温下能夺取许多氧化物或卤化物的氧或卤素：



因此，它可以作为还原剂应用于某些稀有金属的冶炼。

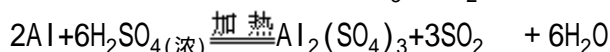
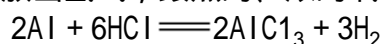
## 铝的物理性质

铝是银白色金属，熔点 660.4 ，沸点 2467 ，密度 2.70 克/厘米<sup>3</sup>，很轻，约为铁的 1/4。它的硬度比较小，具有良好的延展性，可以拉成细丝，也可以辗压成铝箔，后者常用来包装糖果、香烟。它还有良好的导电导热性，电力工业上用它制造电线、电缆、日常生活中用它制造炊具。它可以跟镁、铜、锌、锡、锰、铬、锆、硅等元素形成多种合金，广泛用作制造飞机、汽车、船舶、日常生活用品的材料，也用于建筑业制造门窗。铝是热和光最好的反射体之一，它被用做绝热材料和用于制造反射望远镜中的反射镜。

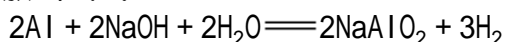
铝的化学性质铝是第三周期 A 族元素，最外层电子是 3s<sup>2</sup>3p<sup>1</sup>，容易失去，因此它也是比较活泼的金属元素。它能跟非金属、酸和碱作用。常温下铝能跟空气中的氧起反应，生成一层致密的氧化膜，它可以阻止铝继续被氧化。高温下，铝可以跟空气中的氧剧烈反应，将铝粉或铝箔放在氧气中加热，则能发生燃烧，放出大量的热：



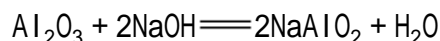
铝还能跟卤素、硫等非金属起反应。铝是两性金属，既能跟酸，也能跟碱起反应。铝跟稀酸反应，放出氢气，跟热的、浓的氧化性酸反应，不放出氢气：



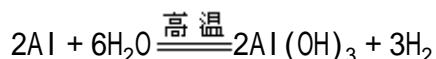
但是跟冷的、浓的氧化性酸如硝酸、硫酸不起作用，因为这些酸能使铝的表面钝化(生成致密的氧化膜)。根据这种性质，常用铝罐装运浓硫酸、浓硝酸。铝跟碱起反应，也放出氢气：



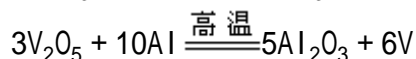
这个反应是由于铝的表面氧化膜(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)容易跟碱起反应而引起的：



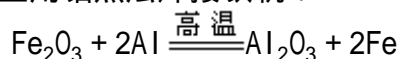
由于铝的表面有一层致密的氧化膜，因此通常情况下铝不与水起作用。但是如果破坏掉氧化膜(如使它生成铝汞齐)，则铝可以跟热水起作用，生成氢氧化铝，并放出氢气：



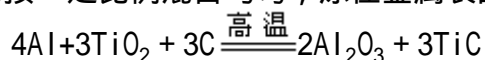
由于铝有强烈的亲氧性，冶金工业上用铝作还原剂来制取某些难以还原的金属：



这种冶金方法叫做铝热法。利用反应生成大量的热将金属熔化，就可以把金属分离出来。铁路工程上用铝热法焊接铁轨：



炼钢时可以在熔融的钢水中投入铝块，以除去钢中的氧。还可以利用铝的亲氧性来制取高温金属陶瓷涂层，方法是将铝粉、石墨和二氧化钛(TiO<sub>2</sub>)或其它高熔点金属氧化物按一定比例混合均匀，涂在金属表面上，然后高温煅烧：



这样留在金属表面的产物都是耐高温的物质。此法已应用于制造火箭、导弹的技术中。



## 合 金

由金属与其它一种以上的金属或非金属所组成的具有金属通性的物质。我国是世界上最早研究和生产合金的国家之一，在商朝(距今 3000 多年前)青铜(铜锡合金)工艺就已非常发达；公元前 6 世纪左右(春秋晚期)已锻打(还进行过热处理)出锋利的剑(钢制品)。合金类型主要是：(1)共熔混合物，如焊锡、铋镉合金等；(2)固熔体，如金银合金等；(3)金属互化物，如铜锌组成的黄铜等。合金的许多性能优于纯金属，故在应用材料中大多使用合金(参看铁合金、不锈钢)。各类型合金都有以下通性：(1)熔点低于其组分中任一种组成金属的熔点；(2)硬度比其组分中任一金属的硬度大；(3)合金的导电性和导热性低于任一组分金属。利用合金的这一特性，可以制造高电阻和高热阻材料。还可制造有特殊性能的材料，如在铁中掺入 15% 铬和 9% 镍得到一种耐腐蚀的不锈钢，适用于化学工业。

## 氯化镁

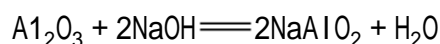
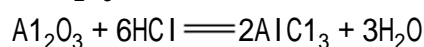
化学式  $\text{MgCl}_2$ ，无色晶体，易溶于水，有苦咸味。通常含 6 个结晶水， $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  的密度为 1.56 克/厘米<sup>3</sup>，熔点为 118℃，同时分解。加热时

可按下式分解： $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{500^\circ\text{C}} \text{MgO} + 2\text{HCl} + 5\text{H}_2\text{O}$ 。

氯化镁是电解冶炼金属镁的原料，它主要来自晒制海盐的苦卤。为制得供电解用的无水氯化镁，必须在氯化氢气流中加热  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ，使其脱水。氯化镁溶液与氧化镁混合，可制成用途广泛的镁质水泥。由于氯化镁易吸潮，纺织工业可用它填充织物，以保持棉花的湿度，而使其柔软。氯化镁与冰混合，可做冷冻剂。

## 氧化铝

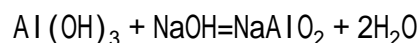
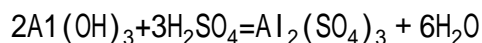
化学式  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ，俗名矾土，白色晶体粉末，不溶于水。它有几种晶型，常见的有  $\alpha$  型和  $\beta$  型，它们的理化性质不同。 $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  的熔点为 2018℃，沸点为 2980℃，密度为 3.97 克/厘米<sup>3</sup>，性质稳定，不溶于酸，也不易跟别的物质发生化学反应。由于它的熔点很高，可以用来做耐火材料，制造耐火坩埚、管材等。它的硬度也很高，仅次于金刚石和金刚砂(碳化硅)，可用来制造钻头、轴承、砂轮等。天然产生的  $\beta$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  叫做刚玉，是无色晶体。有的刚玉含有少量杂质，因而呈现不同的颜色。含有微量  $\text{Cr}^{3+}$  的呈红色，称红宝石；含有  $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$  和  $\text{Ti}^{4+}$  的呈蓝色，称蓝宝石。用熔融氧化铝人工结晶的方法可以制造人造宝石，其性能不次于天然宝石。宝石可用做精密仪器和手表的轴承和装饰品。 $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  能溶于酸和碱，生成铝盐和偏铝酸盐：



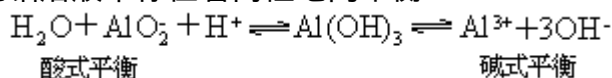
$\beta$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  硬度小，质轻，具有很大的表面积，1 克  $\beta$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  表面积为 200 ~ 400 米<sup>2</sup>，比同质量的活性炭表面积大 2 ~ 4 倍，具有很强的吸附能力和催化活性，所以又叫做活性氧化铝，广泛用做吸附剂、催化剂或催化剂的载体。氧化铝是冶炼铝的原料。纯度 99.99% 的高纯氧化铝作为精细陶瓷，用做集成电路底板、机械耐热陶瓷、录音磁带的填充料，并可制人工骨骼和拉成单晶用于激光技术中。氧化铝纤维可作为增强纤维加在金属、塑料、橡胶或陶瓷中，其强度高于玻璃纤维而与碳纤维相当，在耐热性和电绝缘性方面还优于碳纤维。

## 氢氧化铝

化学式  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ，白色晶体，密度 2.42 克/厘米<sup>3</sup>，300 时失水生成氧化铝。氢氧化铝难溶于水，是典型的两性氢氧化物，溶于酸生成铝盐，溶于强碱生成偏铝酸盐：



这是由于氢氧化铝溶液中存在着两性电离平衡：



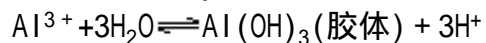
酸式平衡

碱式平衡

氢氧化铝是弱电解质，电离出的  $\text{H}^+$  和  $\text{OH}^-$  都不多。当它遇着酸时，酸中的  $\text{H}^+$  与溶液中的  $\text{OH}^-$  结合成水，促使它按碱式电离，平衡向右移动，从而使氢氧化铝不断溶解；当它遇着强碱时，碱中的  $\text{OH}^-$  跟溶液中的  $\text{H}^+$  结合成水，促使它按酸式电离，平衡向左移动，也使氢氧化铝不断溶解。经过适当处理的氢氧化铝的表面有许多毛细孔，具有强吸附性，可用做吸附剂、媒染剂和净水剂。氢氧化铝的悬浊液和干凝胶用做胃药，以中和胃酸和保护溃疡面。氢氧化铝还是制造瓷釉、耐火材料、防水织物的原料。

## 硫酸铝钾

又称明矾、白矾、铝钾矾,化学式  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ ,是  $K_2SO_4$  与  $Al_2(SO_4)_3$  的复盐。它是无色透明的晶体,密度  $1.757 \text{ 克/厘米}^3$ ,熔点  $92.5$ ,易溶于水,并发生水解,其水溶液呈酸性。



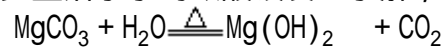
$Al(OH)_3$  胶体吸附能力很强,可以吸附水里悬浮的杂质,并形成沉淀,使水澄清,因此它可做净水剂。除此之外,它还能做媒染剂、造纸填充剂和医药中的收敛剂。

## 硬水和水的硬度

溶有较多量  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  的水，称为硬水；溶有少量或不含  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  的水，称为软水。水中含有  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  多少的程度，叫做水的硬度，它有一种规定的标准。通常把 1 升水里含有 10 毫克  $\text{CaO}$  (或相当于 10 毫克  $\text{CaO}$ ) 称为 1 度 (以  $1^\circ$  表示)。水的硬度在  $8^\circ$  以下的称为软水，在  $8^\circ$  以上的称为硬水。硬度大于  $30^\circ$  的是最硬水。如果水的硬度是由钙和镁的酸式碳酸盐引起的，这种硬度叫做暂时硬度。具有暂时硬度的水经过煮沸以后，水里所含的钙、镁酸式碳酸盐发生分解，生成不溶性的碳酸钙和碳酸镁：



当继续加热煮沸时，少量溶于水的碳酸镁发生水解，生成更难溶的氢氧化镁：

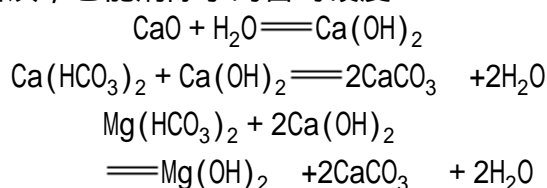


这样，水里溶解的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  相当一部分就以沉淀析出，从而使水的硬度降低，使硬水得以软化。如果水的硬度是由钙和镁的硫酸盐或氯化物等所引起的，这种硬度叫做永久硬度。永久硬度不能用加热的方法软化。天然水大多同时具有暂时硬度和永久硬度，因此水的硬度是泛指这两种硬度的总和。高硬度的水对生活和生产都有危害。它不适宜饮用，因为容易引起肠胃不舒适，还能诱发疾病；它也不利于洗涤，因为它会造成肥皂的浪费，并使衣物丧失鲜艳的色泽。在生产上它不能做锅炉用水，因为它使锅炉结垢，降低热效率，浪费燃料，甚至能引起锅炉爆炸。

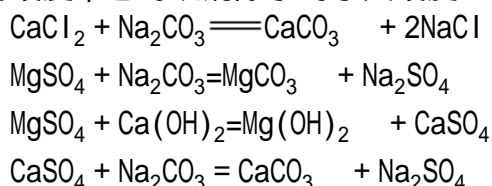
## 硬水的软化

除去或减少天然水中的钙、镁盐类等的过程，叫做硬水的软化。软化硬水主要有药剂法和离子交换法两种方法。

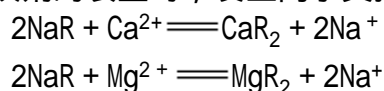
1. 药剂软化法。向硬水中加入适当的化学药剂，促使溶在水中的钙，镁离子以沉淀的形式从水中分离出来，以达到软化的目的。常用的药剂有石灰、纯碱或磷酸三钠等。根据水的硬度和对水质的要求，决定使用某种药剂或同时使用几种药剂。如果对水的软化程度要求不高，或者仅为其它软化法做预处理，可以使用石灰，它能消除水的暂时硬度：



如果对水的软化程度要求高一些，可以使用石灰和纯碱的混合物，它既能消除水的暂时硬度，也可以消除水的永久硬度：



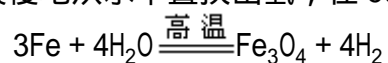
2. 离子交换法。离子交换法是用离子交换剂软化水的一种方法。离子交换剂是一种在水溶液中能与具有相同电荷的离子进行交换的物质，它分阳离子交换剂和阴离子交换剂两类。工业上用于软化水的离子交换剂有磺化煤、离子交换树脂等。它们都是具有复杂结构的物质，为简便起，用 NaR 表示。当硬水通过装有离子交换剂的装置时，发生离子交换作用：



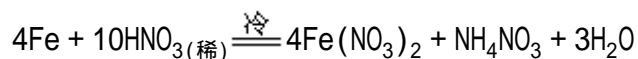
硬水中的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  被离子交换剂吸附而离开溶液，因此从装置中流出的水就成为软水。离子交换剂因离子交换作用的不断进行而逐步丧失功能，因此需要在一定时间内进行再生，即用  $\text{Na}^+$  把它所吸附的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  置换出来，从而恢复它软化水的能力。铁的物理性质铁为银白色金属。熔点 1535 ，沸点 2750 ，密度 7.86 克/厘米<sup>3</sup>；磁化和去磁都很快；有延展性，是可锻金属中除钴、镍以外最坚韧的。铁在红热时变软，可锻造和拉长，在白热时可锻接。纯铁在空气中不起变化，可用于制发电机和电动机的铁心，还原铁粉可用于粉末冶金。

## 铁的化学性质

活泼，为强还原剂，化合价有 0、+2、+3、+6，最重要的价态是+2 和 +3。在室温下，铁可缓慢地从水中置换出氢，在 500℃ 以上反应速度增大：



铁在干燥空气中很难跟氧气反应，但在潮湿空气中很容易腐蚀，若在酸性气体或卤素蒸气氛围中腐蚀更快。铁可以从溶液中还原金、铂、银、汞、铜或锡等离子。与非氧化性稀酸反应，形成  $\text{Fe}^{2+}$  并放出氢气；在冷的稀硝酸中则形成  $\text{Fe}^{2+}$  和  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ：

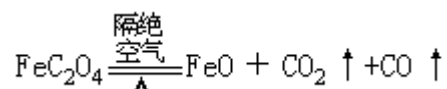


在热的或较浓的硝酸中，生成  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  和氮的氧化物。在冷的浓硝酸或浓硫酸中，铁的表面形成一层致密的氧化薄膜而被钝化，贮运罐车的贮酸罐和蛋形升酸器就是利用这一性质来盛贮和输送浓酸。铁与氯气在加热时反应剧烈，也能与硫、磷、硅、碳直接化合。铁与氮气不能直接化合，但与氨作用，形成氮化铁 ( $\text{Fe}_2\text{N}$ )。(参看铁、二价铁离子和三价铁离子的相互转化。)



## 铁的氧化物

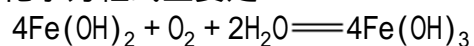
有氧化亚铁(FeO)、氧化铁(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、和四氧化三铁\*(Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)三种。氧化亚铁为黑色粉末，熔点 1369 ± 1 ，密度 5.7 克/厘米<sup>3</sup>，不溶于水，与酸发生反应，跟碱溶液不反应；极不稳定，易被氧化成 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>。在空气中加热会迅速氧化生成 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>。氧化亚铁可在隔绝空气的条件下，加热草酸亚铁制得：



氧化铁是棕红(红)色粉末，俗称铁红。熔点 1565 ，密度 5.24 克/厘米<sup>3</sup>，在自然界以赤铁矿形式存在。与酸作用生成三价铁盐，与强碱作用得 [Fe(OH)<sub>6</sub>]<sup>3-</sup>。在强碱介质中，可被强氧化剂氧化。铁红遮盖力和着色力都很大，有优越的耐光、耐高温性能，并耐大气影响、耐污浊气体、耐一切碱类，普遍用于建筑、橡胶、塑料、油漆等工业。四氧化三铁为黑色晶体，俗称铁黑，加热至熔点(1594 ± 5 )时则分解，密度 5.18 克/厘米<sup>3</sup>，具有很好的磁性，故又称为磁性氧化铁，是天然产磁铁矿的主要成分；在有充分空气的条件下煅烧，容易被氧化成铁红，在潮湿状态下，在空气中也容易氧化成 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>；不溶于水，能与酸反应。铁黑主要用于制底漆和面漆，也用于建筑业作防锈剂。高纯度的四氧化三铁是优良的磁性材料，用于涂敷录音带等。由亚铁盐溶液加碱氧化，或将铁盐与亚铁盐的溶液按一定比例混合后加碱沉淀而制得。

## 铁的氢氧化物

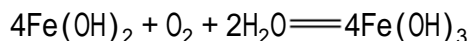
有氢氧化亚铁 $[\text{Fe}(\text{OH})_2]$ 和氢氧化铁 $[\text{Fe}(\text{OH})_3]$ 两种。 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 为白色无定形沉淀，往亚铁盐溶液中加入稀碱溶液并保持无氧的条件，即可制得；不稳定，遇氧气或空气很快发生氧化反应，颜色从白变为浅绿色、绿色，最后会变成红棕色。反应的化学方程式主要是：



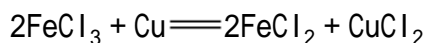
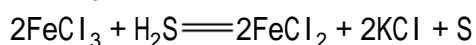
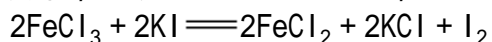
$\text{Fe}(\text{OH})_3$ 为红棕色絮凝沉淀，密度 $3.4 \sim 3.9$ 克/厘米<sup>3</sup>，加热时逐渐分解而成氧化铁。新制得的氢氧化铁易溶于无机酸和有机酸，不溶于水和乙醇。由氯化铁溶液或硝酸铁溶液加氨水而制得；供制颜料、药物，也可作砷的解毒药。

## 铁、二价铁离子和三价铁离子的相互转化

这被简称为“铁三角”。从铁元素原子的结构特征上来认识它们之间的相互转化，可以起到以简驭繁的作用。铁元素为过渡元素，原子的特征电子构型为  $3d^64s^2$ 。遇弱氧化剂(如 S、 $I_2$ 、 $Cu^{2+}$ 、非氧化性稀酸等)时失去 2 个电子，形成  $Fe^{2+}$ ；遇强氧化剂(如  $Cl_2$ 、 $Br_2$ 、热的和较浓的  $HNO_3$ 、热的浓  $H_2SO_4$  等)时，失去 3 个电子，形成  $Fe^{3+}$ 。在酸性介质中， $Fe^{2+}$  可被强氧化剂(如  $Cl_2$ 、 $Br_2$ 、 $H_2O_2$ 、 $KMnO_4$ 、 $K_2Cr_2O_7$  等)氧化成  $Fe^{3+}$ ；在碱性介质中， $Fe^{2+}$  的还原性增强：



$Fe^{3+}$  在酸性介质中，表现出较强的氧化性，可转化为  $Fe^{2+}$ ：



二价铁和三价铁的氧化物在高温被还原，可制得铁单质。(参看生铁冶炼。)

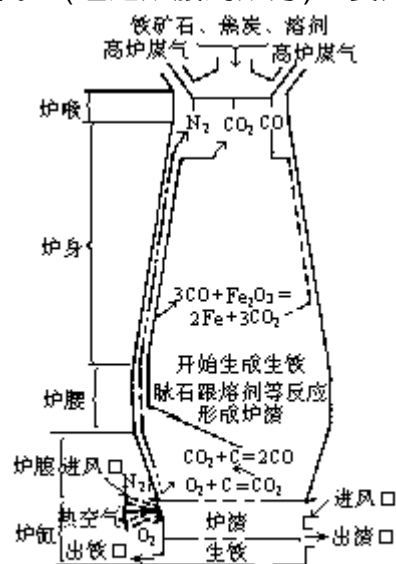
## 生 铁

铁碳合金。一般把含碳量定为 1.7~4.3%，低于 1.7%的为钢。生铁的产量约 90%用于炼钢，10%用于铸造。根据生铁里碳存在形态不同，又可分为炼钢生铁、铸造生铁和球墨铸铁等。炼钢生铁中，碳主要以碳化铁( $\text{Fe}_3\text{C}$ )的形态存在，断口呈白色，又叫白口铁；铸造生铁中，碳是以片状的石墨形态存在，断口呈灰色，又叫灰口铁；球墨铸铁，又称高强度铸铁，是把铸造生铁熔化后，加入球化剂(如镁合金或稀土合金，如铈合金)使铁碳合金里的石墨从片状变为球状，机械性能便大大提高，可以代替一部分钢材用于制造曲轴、齿轮、阀门等。

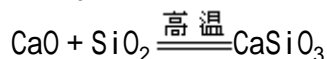
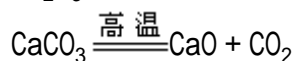
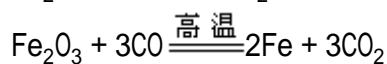
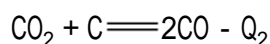
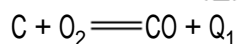
## 生铁冶炼

生铁主要是用高炉冶炼的。生铁是铁元素与碳元素的合金，熔点 1100 ~ 1200 ，含碳量一般为 1.7 ~ 4.3%，此外尚有少量硅、锰、硫、磷等杂质。熔化的生铁流动性好，适宜铸造，但质硬而脆，不便轧制和焊接。经过熔化冶炼后，含碳量低于 1.7% 的铁碳合金，叫做钢，具有韧性，易于压力加工。未加熔化炼制的，含碳更低、含杂质较多的就是熟铁。高炉炼铁的任务是把铁矿石炼成生铁。铁矿石在高炉中经过还原作用(排除氧化铁中的氧)、造渣作用(将铁与杂质分开)、渗碳作用(铁吸收碳素)等一系列复杂变化，形成铁水和炉渣。铁水可以直接用来炼钢或铸成铁锭(或铸件)；炉渣可以作为水泥、渣砖等的原料。从高炉炉顶放出的高炉煤气(主要含一氧化碳、二氧化碳和氮气、灰尘和某些有害气体)经过净化处理，可作为气体燃料。

炼铁的主要原料是铁矿石(含铁低于 45% 的矿石，须经过选矿和烧结，才能入高炉冶炼)、焦炭(固定碳含量在 80 ~ 90%，灰分一般在 10 ~ 20%，且须强度好)、石灰石(氧化钙含量高，二氧化硅及氧化铝含量低，硫磷含量低，块度适宜)和空气(经过热风炉变成热风再鼓入高炉内，见图)。高炉内的化学反应，自下(炉腹部位)而上(经过炉腰到炉身)主要是：



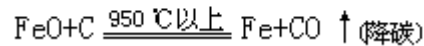
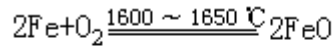
高炉和炉内的化学变化  
过程示意图



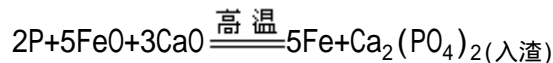
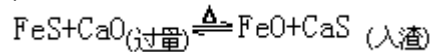
在冶炼过程中，混在铁矿石里的锰、硅、硫、磷等元素也会被还原出来。少量的碳、锰、硅、硫、磷等在高温下熔合在铁里，成为生铁。

## 炼 钢

根据所炼钢种的要求把生铁中的含碳量去除到规定范围，并使其它元素的含量减少或增加到规定范围的过程。简单地说，是对生铁降碳、去硫磷、调硅锰含量的过程。这一过程基本上是一个氧化过程，是用不同来源的氧(如空气中的氧、纯氧气、铁矿石中的氧)来氧化铁水中的碳、硅、锰等元素。化学反应主要是：



反应生成的一氧化碳很容易从铁水排至炉气中而被除掉。生成的二氧化硅、氧化锰、氧化亚铁互相作用成为炉渣浮在钢水面上。生铁中硫、磷这两种元素在一般情况下对钢是有害的，在炼钢过程中必须尽可能除去。在炼钢炉中加入石灰(CaO)，可以去除硫、磷：

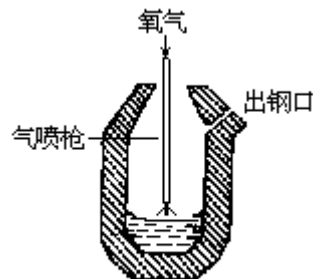


在使碳等元素降到规定范围后，钢水中仍含有大量的氧，是有害的杂质，使钢塑性变坏，轧制时易产生裂纹。故炼钢的最后阶段必须加入脱氧剂(例如锰铁、硅铁和铝等)，以除去钢液中多余的氧：



同时调整好钢液的成分和温度，达到要求可出钢，把钢水铸成钢锭。

炼钢的方法主要有转炉、电炉和平炉三种。平炉炼钢的主要特点是可搭用较多的废钢(可搭用钢铁料的20~50%的废钢)，原料适应性强，但冶炼时间多。我国目前主要采用平炉炼钢。转炉炼钢广泛采用氧气顶吹转炉(见图)，生产速度快(1座300吨的转炉吹炼时间不到20分钟，包括辅助时间不超过1小时，而300吨平炉炼1炉钢要7个小时)，品种多、质量好，可炼普通钢，也可炼合金钢。电炉炼钢是用电能作热源进行冶炼。可以炼制化学工业需要的不锈耐酸钢，电子工业需要的高牌号硅钢、纯铁，航空工业需要的滚珠钢、耐热钢，机械工业用轴承钢、高速切削工具钢，仪表工业需要的精密合金等。



氧气顶吹转炉示意图

## 铁合金

炼钢用原料，或叫做合金生铁，如硅铁、锰铁、铬铁等。在炼钢时，加入铁合金作脱氧剂或合金元素添加剂，以改善钢的性能。铁合金比纯金属有熔点低、比重大，易于加入钢水中等特点。用量一般占钢产量的2~3%。(参看生铁、炼钢。)

## 不锈钢

能抵抗酸、碱、盐等腐蚀作用的合金钢。主要是含铬合金钢。铬钢中加入镍、钼、钛、锰等元素可以改善耐腐蚀性和工艺性能。不锈钢中铬的含量都在 13% 以上，如高铬不锈钢(Cr14% , Fe85.6% , C0.35%)、铬镍不锈钢(Cr18% , Ni8%)等。

---

合金钢是含有一定量合金元素的钢。常用的合金元素有铬、钼、钨、钒、钛、钽、铜、铝、镍、钴、锰、硼等。这些合金元素能显著提高并改善钢的机械性能，还赋予钢许多新的特性，如耐腐蚀、耐磨、耐热、高强度等。



## 铁的天然资源

铁是地壳中含量最丰富的元素之一，相对丰度为 4.75%，占第四位，在金属中仅次于铝，占第二位。在自然界分布很广，常以氧化物的形式存在，有赤铁矿(主要成分  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )、磁铁矿( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )、褐铁矿( $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ )、菱铁矿( $\text{FeCO}_3$ )，另有黄铁矿( $\text{FeS}_2$ )、钛铁矿( $\text{FeTiO}_3$ )、铬铁矿[ $\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2$ ]、镍黄铁矿[ $(\text{Ni}, \text{Fe})_9\text{S}_8$ ]等。前几种铁矿石是炼铁的原料，后几种用于提炼硫黄(或制硫酸)、冶炼钛、铬、镍等。我国铁矿资源丰富，1982 年底已探明的保存储量为 443 亿吨，其中工业储量占 54%，居世界前列。不利之处，主要是贫矿多、富矿少，一般都要经过选矿富集才能利用。

---

矿石名称后面括号中的化学式，均指该矿石所含的主要成分。

一般工业要求含铁量在 30% 以上的矿石有开采价值，含铁 40% 以上是良好的铁矿，含铁 45% 以下的矿石，采出后需经选矿和烧结(富集和造块，品位可达含铁 60% 左右)。

## 铝的天然资源

铝在地壳中含量为 7.73%，是含量最多的金属元素。广泛分布于岩石、泥土和动植物体内。岩石中的铝主要以硅酸铝的形式存在。岩石风化时，硅酸铝沉积为粘土或脱水成铝土矿。含铝矿物有冰晶石(主要成分  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ )和铝土矿(主要成分  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ )等。刚玉是天然结晶氧化铝。我国的铝土矿储量丰富、品位高，用于电解制铝，或制硫酸铝和明矾。现代电解制铝是将氧化铝(处理过的铝土矿粉)溶于熔融的冰晶石中，以钢制电解槽的石墨衬里作阴极，石墨棒作阳极，于 1000 进行电解，在阴极得到液态金属铝(纯度可达 99.8%)。冰晶石在农业上用作杀虫剂；硅酸盐工业用于制造玻璃和搪瓷的乳白剂。高品位的铝土矿粉用于制研磨剂，用于烧制坩埚、瓷器、耐火材料及制造人造宝石等。我国驰名中外的高岭土(又称瓷土)，主要成分为  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ，系由铝硅酸盐矿物(长石、云母等)经风化或水热变而成。(参看氧化铝、硅酸盐、硅酸盐工业。)

## 钢铁的锈蚀和防护

钢铁的锈蚀，损耗惊人。据估计，全世界每年因锈蚀而损失的钢铁，约占全年总产量的 1/4。钢铁锈蚀的原因主要是化学腐蚀和电化学腐蚀(参看化学腐蚀、电化学腐蚀)。排除造成锈蚀的原因，就可以达到防锈和防护的目的。防锈措施有：(1)在钢铁表面涂覆保护层，如表面喷漆、涂搪瓷，或涂布矿物油；(2)镀防护性镀层，如在铁皮上镀锌(称为“白铁皮”)、镀锡(称为“马口铁”)；(3)用化学方法处理使钢铁制品“发蓝”，在制品表面形成一层蓝黑色或深蓝色三氧化二铁薄膜，用于机器和钟表零件、枪炮等表面处理；(4)使用缓蚀剂，例如，在硫酸酸洗过程中，在酸洗液里加入少量的缓蚀剂，可保护酸洗设备基本不被腐蚀，在蒸汽锅炉中注入多磷酸盐可防止锅炉中水垢的生成与氧的腐蚀作用。最彻底的防护法还是在钢铁中添加合金元素制成抗腐蚀合金。例如，抗化学腐蚀和抗电化学腐蚀的不锈钢。(参看不锈钢。)

## 离子交换剂

能与溶液中的阳离子或阴离子进行交换的物质。无机离子交换剂有天然或人造沸石、磷酸锆等，有机离子交换剂有磺化煤、各种离子交换树脂等：按交换性能不同，又可分为阳、阴离子型两类。一般不溶于酸、碱和多种溶剂中，使用后交换性能逐渐消失，可经过处理使之再生。离子交换分离广泛用于(1)实验室制备去离子水、工业上水的软化及高纯水的制备；(2)试剂的制备，例如制备过氧化氢、次磷酸等；(3)溶液和物质的纯化，例如从酸、碱和盐电解质中除去金属离子；(4)除去干扰离子，例如，测定阴离子时，用阳离子交换树脂除去干扰的金属离子；(5)金属离子的分离与核能材料的提取，例如从碱金属中分离过渡金属离子；(6)痕量离子的浓缩；(7)环境保护中含有害金属离子废水、有机废水的净化等。

## 水的净化

根据用水的需要对自然界中的淡水进行处理的方法。水库里的水或未被污染的河水、井水，经过沉降法可以除去泥砂和悬浮物，再经过过滤、用氯气消毒(每吨水需氯气0.4克)，即可供饮用。工业用水，如锅炉用水、漂染用水等，应该除去水里的钙盐和镁盐(参看硬水的软化)。

## 工业污水的处理

工业污水和废水性质复杂，应当尽量设法消除其中的有害物质，力求不排或少排放。处理污水的方法有：(1)物理法，利用物理的机械法处理，如重力分离法、过滤法、热处理法、曝气法等；(2)化学法，主要通过化学反应改变废水中污染物的化学性质或物理性质，进而从水中除去，如中和处理法、混凝处理法、化学沉淀法、氧化处理法、萃取处理法等；(3)物理化学法，运用物理化学方法使废水得到净化，通常指由物理方法和化学方法组成的废水处理系统，或物理化学过程的单项处理方法，如吸附、萃取、电解、离子交换等；(4)生物法，利用微生物的代谢作用来处理废水，如需氧生物处理法和厌氧生物处理法。处理后的污水，达到国家颁发的水质标准时，可作冷却用水，冲洗卫生间、喷洒街道、浇灌绿地等。

## 电解食盐水

(参看氯碱工业。)

## 氯碱工业

由电解食盐水溶液制取烧碱、氯气和氢气的工业生产，是重要的基础化学工业之一。我国的氯碱工业主要采用两种生产工艺。

### 1. 隔膜法

电解在立式隔膜电解槽中进行，如图 a 所示。电解槽的阳极用涂有  $\text{TiO}_2$  -  $\text{RuO}_2$  涂层的钛或石墨制成，阴极由铁丝网制成，网上附着一层石棉绒做隔膜，这层隔膜把电解槽分隔成阳极室和阴极室。将已除去  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  等杂质的精制食盐水从电解槽的上部加入。由于食盐水中进行着如下两种电离方程：

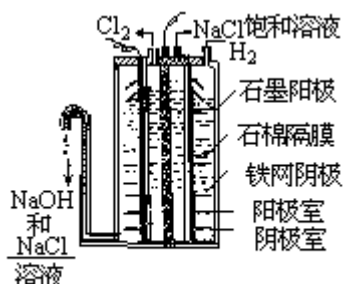
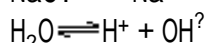
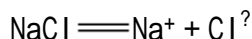
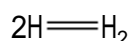
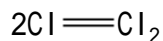
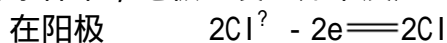


图 a 立式隔膜电解槽示意图



所以，食盐水中含有  $\text{Na}^+$ 、 $\text{H}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  和  $\text{OH}^-$  四种离子。当接通电源后，在电场的作用下，带负电的  $\text{Cl}^-$  和  $\text{OH}^-$  移向阳极，带正电的  $\text{Na}^+$  和  $\text{H}^+$  移向阴极，在这种条件下，电极上发生如下反应：



即在阳极室放出  $\text{Cl}_2$ ，阴极室放出  $\text{H}_2$ 。由于阴极上有隔膜，而且阳极室的液位比阴极室高，所以可以阻止  $\text{H}_2$  跟  $\text{Cl}_2$  混合，以免引起爆炸。由于  $\text{H}^+$  不断放电，破坏了水的电离平衡，促使水不断电离，造成溶液中  $\text{OH}^-$  的富集。这样在阴极室就形成了  $\text{NaOH}$  溶液，它从阴极室底部流出。电解食盐水的总反应可以表示如下：



用这种方法生产的碱液比较稀，其中含有多量未电解的  $\text{NaCl}$ ，需要经过分离、浓缩，才能得到固态  $\text{NaOH}$ 。

### 2. 离子交换膜法

离子交换膜法电解食盐水的原理如图 b 所示。在这种电解槽中，用阳离子交换膜把阳极室和阴极室隔开。阳离子交换膜跟石棉绒膜不同，它具有选择透过性。它只让  $\text{Na}^+$  带着少量水分子透过，其它离子难以透过。电解时从电解槽的下部往阳极室注入经过严格精制的  $\text{NaCl}$  溶液，往阴极室注入水。在阳极室中  $\text{Cl}^-$  放电，生成  $\text{Cl}_2$ ，从电解槽顶部放出，同时  $\text{Na}^+$  带着少量水分子透过阳离子交换膜流向阴极室。在阴极室中  $\text{H}^+$  放电，生成  $\text{H}_2$ ，也从电解槽



顶部放出。但是剩余的  $\text{OH}^-$  由于受阳离子交换膜的阻隔，不能移向阳极室，这样就在阴极室里逐渐富集，形成了  $\text{NaOH}$  溶液。随着电解的进行，不断往阳极室里注入精制食盐水，以补充  $\text{NaCl}$  的消耗；不断往阴极室里注入水，以补充水的消耗和调节产品  $\text{NaOH}$  的浓度。所得的碱液从阴极室上部导出。因为阳离子交换膜能阻止  $\text{Cl}^-$  通过，所以阴极室生成的  $\text{NaOH}$  溶液中含  $\text{NaCl}$  杂质很少。用这种方法制得的产品比用隔膜法电解生产的产品浓度大，纯度高，而且能耗也低，所以它是目前最先进的生产氯碱的工艺。

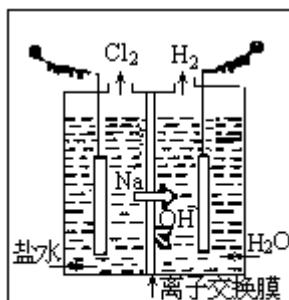


图 b 离子交换膜法电解  
食盐水的原理图

\* 近代测试表明，四氧化三铁实际是铁的混合价态化合物，分子式应为  $\text{Fe}^{\text{II}}\text{Fe}^{\text{III}}[\text{Fe}^{\text{III}}\text{O}_4]$ 。在中学可以将  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  分入“复杂氧化物”类。

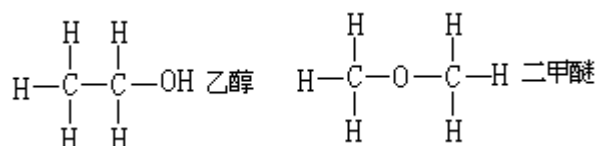
### 三、有机化学基础知识

#### 有机物的特点

有机化合物与无机化合物相比，一般具有如下特点：

(1) 目前从自然界发现的和人工合成的有机物已超过一千万种(1990年)，而无机物却只有十来万种。这是由于碳原子跟碳原子之间能通过共价键相结合，形成长的碳链。例如，碳、氢两种原子可形成很多种碳氢化合物甲烷、乙烷、丙烷等等。这是有机物种类繁多的主要原因之一。在各种各样的天然有机物中，它们通常是由少数几种元素组成的，除碳外，几乎总含氢，往往含氧、氮，有的还含有硫、磷等。

(2) 有机物中的同分异构现象是很普遍的，而无机物却不多见。许多有机物的分子式和分子量都相同，但物理性质和化学性质往往差异很大。如乙醇和二甲醚的分子式都是  $C_2H_6O$ ，分子量都是 46.07，但它们由于分子中的原子排列顺序不同，它们是两种性质不同的化合物。



同分异构现象是导致有机物种类繁多的又一重要原因。

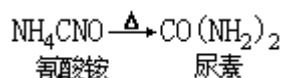
(3) 固态有机物的熔点不高，一般不超过  $623.2 \sim 673.2\text{K}$ 。在空气存在下，绝大多数有机物能燃烧，其中碳元素转化成  $\text{CO}_2$ ，氢元素转化成  $\text{H}_2\text{O}$ ，氮元素转化为氮气。

(4) 有机物分子中原子间具有明显的共价键性质。因此，大多数有机物属于非电解质；不容易溶于水而易溶于有机溶剂；有机物之间的反应往往很慢，常需使用催化剂。

(5) 有许多有机化合物具有特殊的生理作用，是生命活动过程中的载体、成分或产物，如酶、激素、维生素等。

## 无机物转化成有机物

18 世纪至 19 世纪初，在生物学和有机化学领域中流行着一种“生命力论”。生命力论者认为：动植物有机体具有一种生命力，依靠这种生命力才能制造有机物质。因此，有机物只能在有机体内产生，在生产上和实验室，人们只能合成无机物，不能合成有机物质，特别是不能从无机物质合成有机物质。1824 年，德国有机化学家维勒(Friedrich Wöhler)首先从无机物人工合成了有机物——尿素。



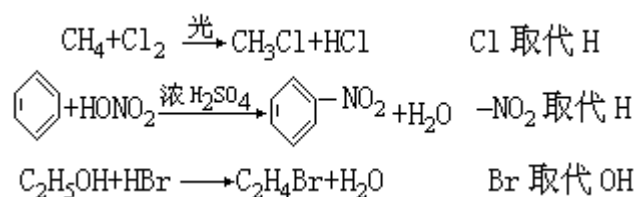
尿素的合成，是有机化学发展过程中的一个重大突破，它突破了无机化合物和有机化合物之间的绝对界限，动摇了生命力论的思想基础，为有机合成开辟了广阔的道路。1845 年，德国化学家柯尔柏(Hermann Kolbe, 1818—1884)利用木炭、硫黄、氯气及水作原料，合成了有机化合物醋酸，随后，人们又合成了葡萄糖、柠檬酸、琥珀酸、苹果酸等一系列有机酸。这些有机酸过去都是从动植物提取的。1854 年，法国化学家贝特罗(Pierre E. Marcellin Berthelot, 1827—1907)成功地合成了属于油脂类的物质。1965 年，我国科学工作者在世界上首次人工合成了蛋白质——结晶牛胰岛素，成为第一个人工合成蛋白质的国家。牛胰岛素的合成在有机合成中又是一次突破，它突破了合成简单有机物和生物高分子的界限，开创了人工合成生物高分子——蛋白质和核酸的新时期。

## 饱和烃

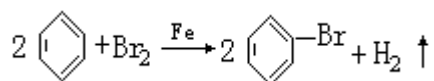
分子中碳原子间完全以单键结合的烃是饱和烃。按分子结构，可分为饱和链烃和饱和环烃。饱和链烃即烷烃，如丙烷、丁烷等；饱和环烃即环烷烃，如环戊烷、环己烷等。它们的化学性质、来源等(参看烷烃和环烷烃。)

## 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所代替的反应。例如：



此外，磺化、酯化、酯水解等也是取代反应。取代反应与置换反应是完全不同的两类反应。置换反应都有单质参加反应，一般都涉及电子得失，并且反应生成物一定有一种单质；而取代反应是因有机物分子里原子间都以共价键结合，发生反应时仅是原子间的代换，不涉及电子得失，生成物一定没有单质出现。如苯跟溴(Fe 为催化剂)本是取代反应，反应方程式如下写法则是错误的：



当然，有机物并不是不能发生置换反应，如：



则是置换反应。

## 烷 烃

即饱和链烃。烷烃分子里的碳原子之间以单键结合成链状(直链或含支链)外,其余化合价全部为氢原子所饱和。烷烃包括一系列的化合物,有甲烷( $\text{CH}_4$ )、乙烷( $\text{C}_2\text{H}_6$ )、丙烷( $\text{C}_3\text{H}_8$ )、丁烷( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ )等。烷烃的通式为 $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ 。烷烃的物理性质,如沸点、熔点等随分子中碳原子数目依次增加而呈现有规律性的变化。烷烃几乎不溶于水,化学性质较稳定,不跟酸性 $\text{KMnO}_4$ 溶液反应;能燃烧;在一定条件能发生取代反应、裂解反应等。烷烃的主要工业来源是石油和天然气。天然气有干气、湿气之分,主要成分是甲烷。干气除用做燃料外,还可以生产碳黑以及生产合成氨、甲醇和其它有机化学工业品的原料气。湿气中含有较大量的乙烷、丙烷、丁烷等,除直接用作燃料外,也可经裂解生产乙烯做化工原料。石油经分馏,除获得大量燃料油、润滑油外,相当大的一部分进行化学加工,如 $\text{C}_7\text{—C}_9$ 馏分经催化重整可得芳香烃,重质油经催化裂化再进行分离可得乙烯、丙烯、丁二烯等重要化工原料,用以生产塑料、橡胶等。

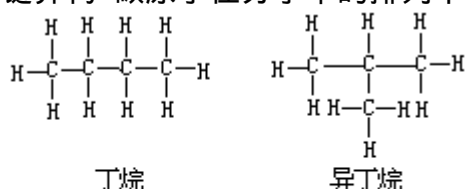
## 同系物

结构相似，在分子组成上相差 1 个或几个  $\text{CH}_2$  原子团的物质，互称为同系物。如甲烷( $\text{CH}_4$ )、乙烷( $\text{C}_2\text{H}_6$ )、丙烷( $\text{C}_3\text{H}_8$ )、丁烷( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ )等，其中甲烷与正丁烷互为同系物，甲烷与异丁烷也互为同系物。乙烯、丙烯、丁烯等互为同系物。乙烯( $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$ )和丁二烯( $\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH} = \text{CH}_2$ )的分子虽都呈链状，都有双键，但分子组成不符合相差 2 个  $\text{CH}_2$  原子团，故不属同系物。又如乙酸乙酯和三乙酸甘油酯虽都属于酯类，但分子组成不符合相差若干个  $\text{CH}_2$  原子团，故也不属同系物。同系物的物理性质，如沸点、熔点等，一般是随分子中碳原子数的增多，呈现有规律的变化。同系物的分子结构相似，它们的化学性质也相似。

## 同分异构现象

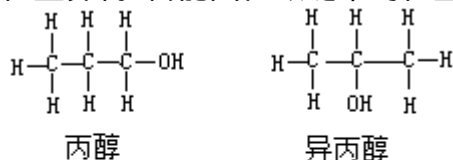
化合物具有相同的分子式但结构不同的现象，叫同分异构现象。具有同分异构现象的化合物互为同分异构体。在烷烃分子里，随着碳原子数目的增加，碳原子之间的结合方式也就越多样化，同分异构体的数目也就越多。如丁烷有两种同分异构体，己烷有 5 种同分异构体，庚烷有 9 种，癸烷有 75 种之多。在有机化学中，常见的同分异构现象有：

1. 碳链异构 碳原子在分子中的排列不同，如丁烷和异丁烷

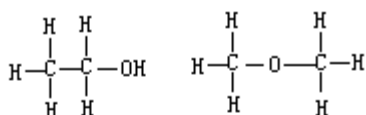


沸点(°C)	- 138.4	- 159.6
熔点(°C)	- 0.50	- 11.7
密度(克/厘米 <sup>3</sup> )	0.5788	0.557

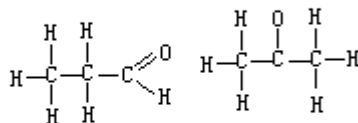
2. 位置异构 官能团在碳链中的位置不同，如丙醇和异丙醇



沸点(°C)	97.17	82.5
熔点(°C)	-127	- 88
密度(克/厘米 <sup>3</sup> )	0.8036	0.7851



沸点(°C)	78.4	-23.7
熔点(°C)	-117.3	-138.5



沸点(°C)	47~49	56.2
熔点(°C)	- 81	-94.4

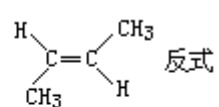
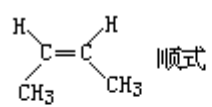


沸点(°C)	117.9	31.5
熔点(°C)	16.6	-99

3. 官能团异构 如：

4. 立体异构 具有相同分子式的化合物中，由于原子或原子团在空间排列不同而引起的同分异构现象。有几何异构（也称顺反异构）和旋光异构（从略）。由于双键或环的存在，某些原子或原子团在空间的排列不同而产生几何异构。如：2—丁烯





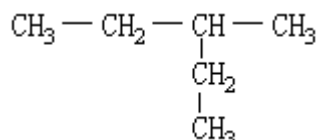
沸点(°C) 3.7  
熔点(°C) -138.9

0.88  
- 105.5

## 烷烃的命名

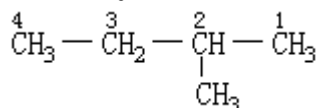
1892年日内瓦国际化学会议规定了一个命名原则，这个命名原则称为日内瓦命名法，也称国际命名法。我国的有机化合物命名原则是根据我国的文字特点，参照国际命名法制定的，称为系统命名法。烷烃的系统命名法如下：

1. 从结构选定最长的碳链为主链，根据这个碳链所含碳原子数称为“某”烷，并以它作母体。将主链以外的其它烷基看作取代基(或称支链)。但初学者容易出现的错误是习惯于把横向排列的碳链作为主链，其它作为支链。如：

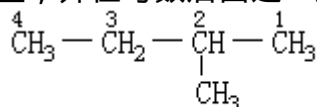


误认为主链含4个碳原子，而实际是5个碳原子。

2. 由距离支链最近的一端开始，将主链上的碳原子用1, 2, 3, ……，等数字依次编号，以确定支链的位置。如：

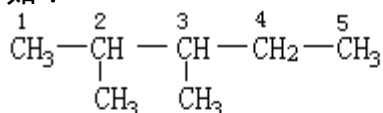


3. 把取代基的名称写在烷烃名称前面，在取代基的前面用阿拉伯数字注明它在烷烃直链上的位置，并在号数后面连一短线。如：

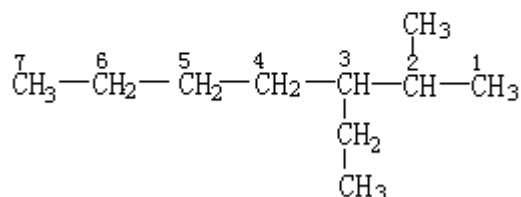


2-甲基丁烷

4. 如含有几个相同的取代基，则在取代基的前面用中文数字二、三、四等表明相同基的数目；如取代基不同，就把简单的写在前面，复杂的写在后面。如：



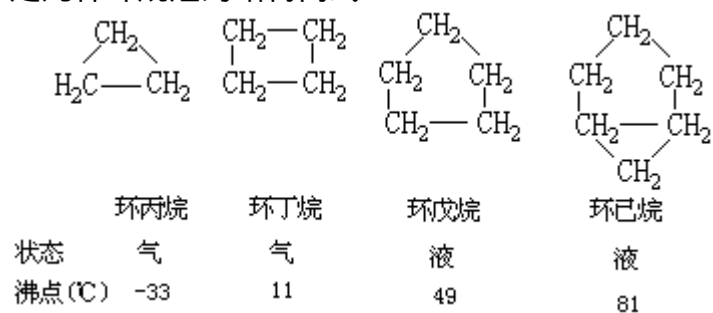
2, 3-二甲基戊烷



2-甲基-3-乙基庚烷

## 环烷烃

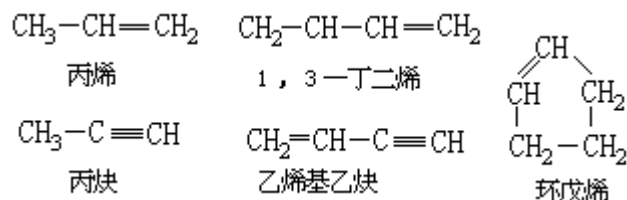
组成烃分子的碳原子相互连接成环状的，叫环烃，在环烃分子中，碳原子之间全是单键相互结合的叫环烷烃，也叫饱和脂环烃。由三个、四个碳原子组成的环烷烃，环的稳定性较差，在一些试剂的作用下易发生开环反应。五个以上碳原子构成的环较稳定。这些环烷烃的性质与饱和链烃相似。以下是几种环烷烃的结构简式：



环烷烃的通式为  $C_nH_{2n}$ ，它们与相应的烯烃属同分异构体。在环烷烃中，目前使用较多的是环己烷，常用为树脂的有机溶剂以及制尼龙—6 的原料。

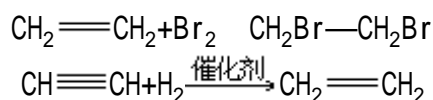
## 不饱和烃

分子中含双键或叁键的烃。有双键的称烯烃(一个双键)或二烯烃(两个双键)，有叁键的称炔烃。如：

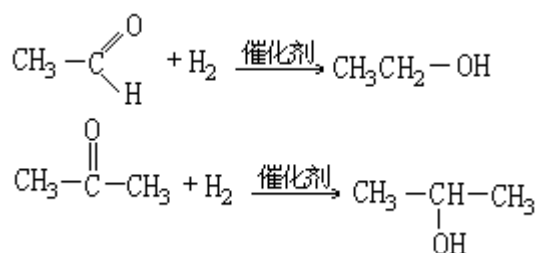


不饱和烃的化学性质活泼，易受酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液氧化，易发生加成反应和加聚反应。加成反应

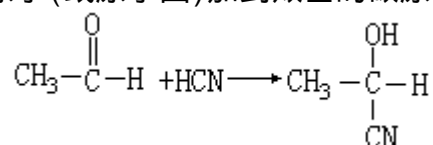
有机物分子中的双键或叁键发生断裂，加进(结合)其它原子或原子团的反应。如



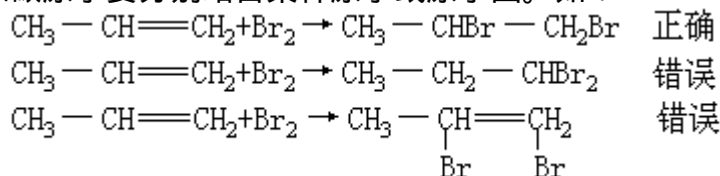
醛羰基和酮羰基的双键与烯烃的碳碳双键一样，其中一个键易断裂而发生加成反应，如：



如加成试剂为简单化合物时，分子中带正电性的原子加到羰基带负电性的氧原子上，带负电性的原子(或原子团)加到羰基的碳原子上，如：



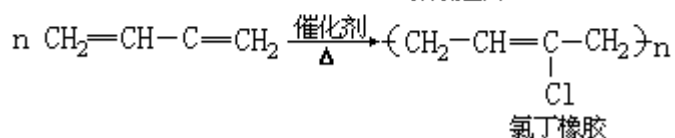
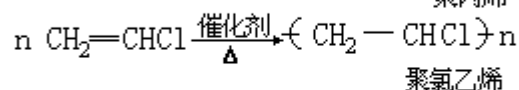
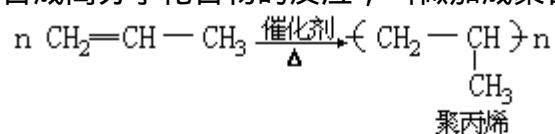
用结构简式表示加成反应时，不饱和化合物一定变得相对饱和，并且两个不饱和碳原子要分别结合某种原子或原子团。如：



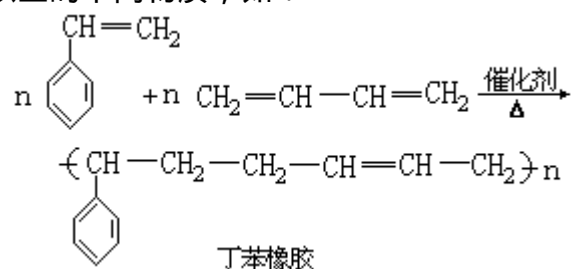
此外，丙烯的结构简式，其中双键须表示出来，应写为  $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}_2$ ，不能写成  $\text{CH}_3\text{CHCH}_2$ 。

## 加聚反应

小分子的烯烃或烯烃的取代衍生物在加热和催化剂作用下，通过加成反应结合成高分子化合物的反应，叫做加成聚合反应，简称加聚反应。如：



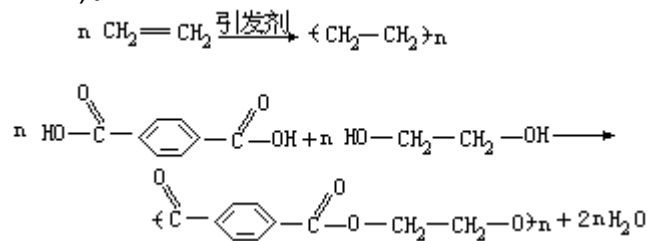
单体可以是两种以上的不同物质，如：



在工业上，通过加聚反应制造合成塑料、合成橡胶等。

## 高分子

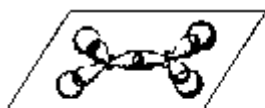
高分子化合物的简称。高分子的分子量从几千到几十万甚至几百万，所含原子数目一般在几万以上，而且这些原子是通过共价键连接起来的。高分子化合物由于分子量很大，分子间作用力的情况与小分子大不相同，从而具有特有的高强度、高韧性、高弹性等。高分子化合物中的原子连接成很长的线状分子时，叫线型高分子(如聚乙烯的分子)。这种高分子在加热时可以熔融，在适当的溶剂中可以溶解。高分子化合物中的原子连接成线状但带有较长分支时，也可以在加热时熔融，在适当溶剂中溶解。如果高分子化合物中的原子连接成网状时，这种高分子由于一般都不是平面结构而是立体结构，所以也叫体型高分子。体型高分子加热时不能熔融，只能变软；不能在任何溶剂中溶解，只能在某些溶剂中溶胀。高分子化合物在自然界中大量存在，这种高分子叫天然高分子。在生物界中，构成生物体的蛋白质，纤维素；携带生物遗传信息的核酸；食物中的淀粉，衣服原料的棉、毛、丝、麻以及木材、橡胶等等，都是天然高分子。非生物界中，如长石、石英、金刚石等，都是无机高分子。天然高分子可以通过化学加工成天然高分子的衍生物，从而改变其加工性能和使用性能。例如，硝酸纤维素、硫化橡胶等。完全由人工方法合成的高分子，在分子科学中占有重要的地位。这种高分子是由一种或几种小分子作原料，通过加聚反应或缩聚反应生成的，故也叫聚合物。用做原料的小分子称为单体，如由乙烯(单体)经加聚反应得聚乙烯(聚合物)；由乙二醇(单体)和对苯二甲酸(单体)经缩聚反应生成聚对苯二甲酸乙二醇酯(聚合物)。



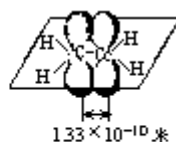
## 乙烯的结构

实验表明，乙烯分子里的 C=C 双键的键长是  $1.33 \times 10^{-10}$  米，乙烯分子里的 2 个碳原子和 4 个氢原子都处在同一个平面上。它们彼此之间的键角约为  $120^\circ$ 。乙烯双键的键能是 615 千焦/摩，实验测得乙烷 C—C 单键的键长是  $1.54 \times 10^{-10}$  米，键能 348 千焦/摩。这表明 C=C 双键的键能并不是 C—C 单键键能的两倍，而是比两倍略少。因此，只需要较少的能量，就能使双键里的一个键断裂。这是乙烯的性质活泼，容易发生加成反应等的原因。

在形成乙烯分子的过程中，每个碳原子以 1 个 2s 轨道和 2 个 2p 轨道杂化形成 3 个等同的  $sp^2$  杂化轨道而成键。这 3 个  $sp^2$  杂化轨道在同一平面里，互成  $120^\circ$  夹角。因此，在乙烯分子里形成 5 个  $\sigma$  键，其中 4 个是 C—H 键 ( $sp^2-s$ ) 1 个是 C—C 键 ( $sp^2-sp^2$ )；两个碳原子剩下未参加杂化的 2 个平行的 p 轨道在侧面发生重叠，形成另一种化学键： $\pi$  键，并和  $\sigma$  键所在的平面垂直。如：乙烯分子里的 C=C 双键是由一个  $\sigma$  键和一个  $\pi$  键形成的。这两种键的轨道重叠程度是不同的。 $\pi$  键是由 p 轨道从侧面重叠形成的，重叠程度比  $\sigma$  键从正面重叠要小，所以  $\pi$  键不如  $\sigma$  键牢固，比较容易断裂，断裂时需要的能量也较少。



乙炔分子里的  $\sigma$  键



乙炔分子里的  $\pi$  键

## 烯 烃

是指分子中含一个碳碳双键的链烃。通式为  $C_nH_{2n}$ 。与碳原子数目相同的环烷烃互为同分异构体。 $C_2—C_4$  的烯烃在常温常压下是气体， $C_5—C_{15}$  的烯烃是液体，分子中含碳原子数更多的烯烃是固体。都可燃，火焰明亮。它们的物理性质，一般地随分子中碳原子数目增加而有规律地变化。烯烃分子中因含有双键，化学性质比烷烃活泼，容易发生氧化反应、加成反应和加聚反应等。从工业生产角度说，重要的是乙烯和丙烯，它们是制造合成纤维、合成树脂等的基础原料，工业上是由石油裂解生产的。



## 二烯烃

是分子中含两个双键的不饱和烃。按分子结构，有环状二烯烃(如 1,3-环戊二烯)和链状二烯烃。通常，二烯烃是指分子中含两个双键的不饱和链烃。二烯烃分子中，由于两个双键的位置不同，有三种情况：

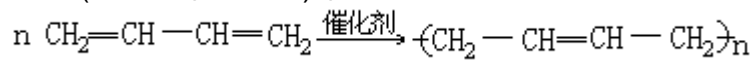
1. 聚集双键二烯烃 如丙二烯  $\text{CH}_2=\text{C}=\text{CH}_2$ 。这是一种无色气体，加热时，异构化成丙炔。

2. 共轭双键二烯烃 两个双键被一个单键隔开的二烯烃。如 1,3-丁二烯，1,3-戊二烯和异戊二烯。共轭二烯烃除具有和烯烃相似的化学性质外，主要特点是能发生 1,4 加成、聚合反应。

3. 隔离双键二烯烃 两个双键被两个以上单键隔开的二烯烃。如 1,4-己二烯( $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_3$ )。在二烯烃中，共轭双键二烯烃是最重要的，其中丁二烯和异戊二烯是合成橡胶的重要原料。

## 1, 3-丁二烯的性质

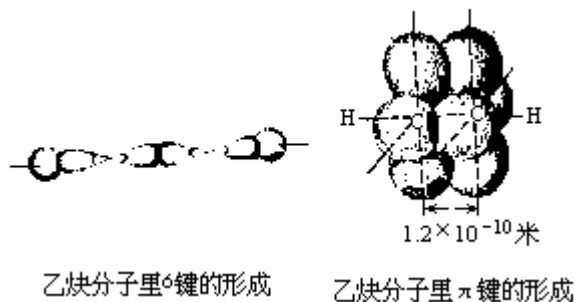
在常温和常压下，1, 3-丁二烯是无色而略带大蒜味的可燃气体。沸点-4.41℃，熔点-108.9℃。有毒，空气中含低浓度时，对粘膜有刺激性，高浓度有麻醉作用。与空气能形成爆炸混合物，爆炸极限 2.16 - 11.47% (体积)。1, 3-丁二烯微溶于水，易溶于苯、乙醚、氯仿、四氯化碳、汽油等有机溶剂。1, 3-丁二烯的化学性质活泼，可使酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液或溴水褪色，更重要的是能发生加聚反应(自身 1, 4 加成)，化学方程式为：



这是用共轭二烯烃及其衍生物制造合成橡胶的反应基础。

## 乙炔的结构

乙炔分子里碳碳叁键的键能是 812 千焦/摩,比三个碳碳单键的键能之和要小得多(也比一个单键和一个双键键能之和小)。叁键的键长是  $1.20 \times 10^{-10}$  米,比单键或双键的键长都短。乙炔分子里 C—C 键跟 C—H 键间的夹角是  $180^\circ$ ,即乙炔分子里的两个碳原子和两个氢原子处在一条直线上。乙炔分子里每个碳原子,是以一个 2s 轨道和一个 2p 轨道进行杂化,形成两个能量相等的 sp 杂化轨道。这两个 sp 杂化轨道的对称轴在同一条直线上。每个碳原子各以一个 sp 杂化轨道跟氢原子的一个 1s 轨道进行重叠而形成一个碳氢的  $\sigma$  键。同时又各以其另一个 sp 杂化轨道相互重叠形成一个碳碳的  $\sigma$  键。在两个碳原子中还各有另外两个 p 轨道没有参加杂化,它们的电子云互相垂直,同时也跟碳碳间  $\sigma$  键的对称轴垂直。这样就在 4 个 p 电子之间形成两个  $\pi$  键,这两个  $\pi$  键是互相垂直的。乙炔分子里的 C—C 叁键是由一个  $\sigma$  键和两个相互垂直的  $\pi$  键所组成。已知  $\pi$  键的键能小于  $\sigma$  键的键能,所以在一定条件下, $\pi$  键容易断裂,容易发生氧化反应、加成反应等。

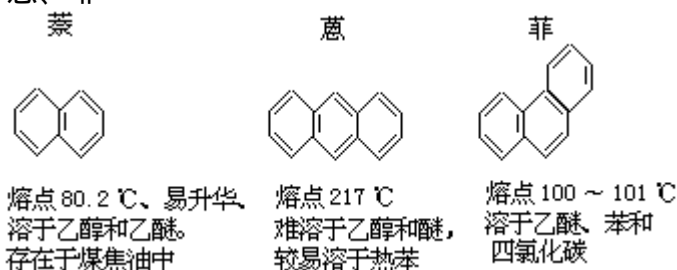


## 炔 烃

分子里含一个碳碳叁键的链烃。炔烃的组成通式为  $C_nH_{2n-2}$ 。炔烃与碳原子数目相同的二烯烃互为同分异构体。炔烃分子中的碳碳叁键是官能团，性质活泼，容易发生氧化反应、加成反应和加聚反应。炔烃里最简单的是乙炔。乙炔在氧气中燃烧产生高达 3500 高温，用于金属的焊接或切割，大量的乙炔用于化工原料制聚氯乙烯、氯丁橡胶及醋酸等。实验室少量制乙炔，常用电石跟水反应排水收集。工业上用天然气中甲烷的部分氧化或石油高温裂解而得。芳香烃

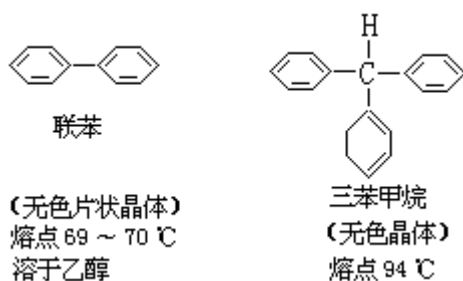
分子中含有一个或多个苯环的烃类，简称芳烃。根据它们的结构，可分为三类：

1. 单环芳烃 分子中只含一个苯环的芳烃。如苯、甲苯、二甲苯等。
2. 稠环芳烃 两个或两个以上的苯环分别共用两个相邻的碳原子而成的芳烃。如萘、蒽、菲



蒽和菲互为同分异构体。

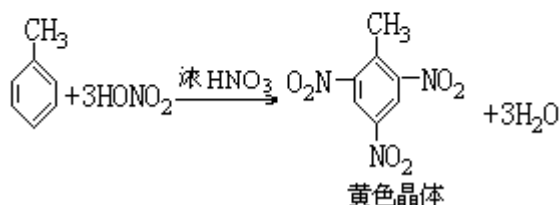
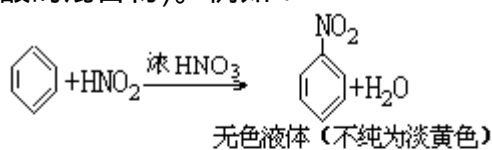
3. 多环芳烃 如：



芳香烃主要来源于煤焦油和石油。芳香烃不溶于水，溶于有机溶剂。芳香烃一般比水轻；沸点随分子量的增加而升高。芳香烃易起取代反应，在一定条件下也能起加成反应。如苯跟氯气在铁催化剂条件下生成氯苯和氯化氢，在光照下则发生加成反应生成六氯化苯 ( $C_6H_6Cl_6$ )。芳香烃主要用于制药、染料等工业。

## 硝化反应

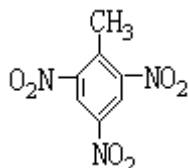
烃分子中的氢原子被硝基取代生成硝基化合物的反应。硝化剂常使用混酸(浓硝酸与浓硫酸的混合物)。例如：



此外，烷烃也可以经硝化反应生成硝基某烷。例如，甲烷跟硝酸蒸气在加热和加压下生成硝基甲烷。 $\text{CH}_4 + \text{HONO}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{—NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

无色液体

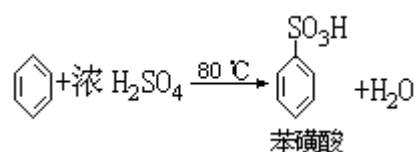
芳香烃的硝基化合物用于制染料、炸药等，烷烃的硝基化合物多用做溶剂。要注意的是，在硝基化合物的分子中，硝基( $\text{—NO}_2$ )的氮原子是直接连接在碳原子上的，故把三硝基甲苯的结构简式写成：



则是错误的。硝基中氮原子如果是通过氧原子间接连接在碳原子上 $\text{—O—NO}_2$ ，这是硝酸酯而不是硝基化合物，生成硝酸酯的反应属酯化反应，不属硝化反应。

## 磺化反应


烃分子中的氢原子被磺酸基( $-\text{SO}_3\text{H}$ )取代生成烃基磺酸的反应。主要是指苯环上的氢原子被 $-\text{SO}_3\text{H}$ 取代的反应。例如：



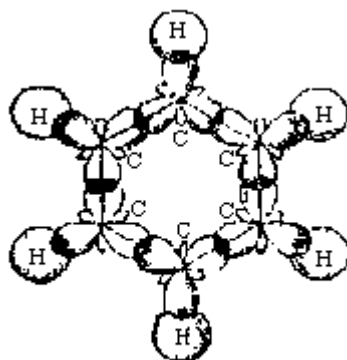
磺酸在有机酸中属强酸，羧酸属弱酸。有机物分子中引入磺酸基后，可增加有机物的水溶性。如苯和萘都难溶于水，而苯磺酸和 1—萘磺酸却都是溶于水的。

## 苯的结构

苯分子具有平面的正六边形结构。各个键角都是  $120^\circ$ ，六角环上碳碳之间的键长都是  $1.40 \times 10^{-10}$  米。它既不同于一般的单键(C—C 键键长是  $1.54 \times 10^{-10}$  米)，也不同于一般的双键(C=C 键键长是  $1.33 \times 10^{-10}$  米)。从苯跟高锰酸钾溶液和溴水都不起反应这一事实和测定的碳碳间键长的实验数据来看，充分说明苯环上碳碳间的键应是一种介于单键和双键之间的独特的键。

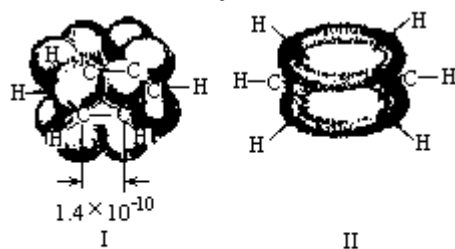
为了表示苯分子结构的这一特点，常用下式来表示苯的结构简式 。直到现在，凯库勒式的表示方法仍被沿用，但在理解上绝不应认为苯是单、双键交替组成的环状结构。

苯分子里 6 个碳原子的电子都以  $sp^2$  杂化轨道相互重叠，形成 6 个碳碳的  $\sigma$  键，又各以 1 个  $sp^2$  杂化轨道分别跟氢原子的 1s 轨道进行重叠，形成 6 个碳氢的  $\sigma$  键。由于是  $sp^2$  杂化，所以键角是  $120^\circ$ ，并且所有 6 个碳原子和 6 个氢原子都是在同一个平面上相互连接起来的。



苯分子内  $\sigma$  键形成示意图

苯环上 6 个碳原子各有 1 个未参加杂化的 2p 轨道，它们垂直于环的平面，并从侧面相互重叠而形成一个大  $\pi$  键，并且均匀地对称分布在环平面的上方和下方。通常把苯的这种键型称为大  $\pi$  键。苯的大  $\pi$  键的形成使键电子云为 6 个碳原子所共有，因而受到 6 个碳原子核的共同吸引，彼此结合得比较牢固。同时，苯的大  $\pi$  键是平均分布在 6 个碳原子上，所以苯分子中每个碳碳键的键长和键能是相等的。

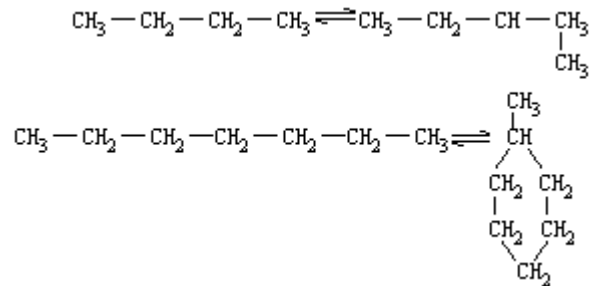


苯分子大  $\pi$  键的形成

I p 轨道重叠      II 大  $\pi$  键的形成

## 催化重整

在加热、加压和有催化剂的作用下，把直馏汽油的直链烷烃的结构进行调整，使它们转化成芳香烃或具有支链的烷烃异构体，以及环烷烃转化成芳香烃的过程，称为催化重整。如：

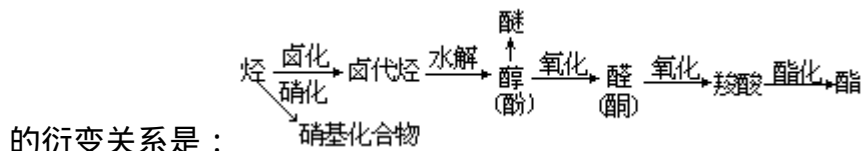


目前工业上广泛使用的催化剂有铂(Pt)、铼(Re)或同时使用铂和铼。人们根据所使用的催化剂不同，分别称它们为铂重整、铼重整或铂铼重整。直馏汽油经催化重整后，不仅可以制得芳香烃，同时还可以有效地提高燃料汽油的质量。



## 烃的衍生物

烃分子里的氢原子被其它原子或原子团所取代，生成一系列新的有机物。这些有机物，从结构上说，都可以看做是由烃衍变而来的，所以叫做烃的衍生物。不同的衍生物具有不同的化学性质。烃的衍生物种类很多，如卤代烃、醇、酚、醚、醛、酮、羧酸、酯、硝基化合物等。从结构上看，它们



的衍变关系是：

### 官能团

是有机化合物分子中能够反映特殊性质的原子或原子团。例如，羧酸类

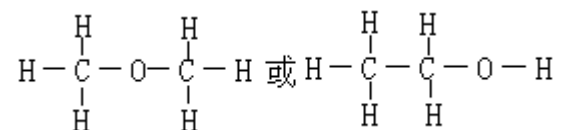
分子的羧基  $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{C} \\ \backslash \\ \text{OH} \end{array}$ ，胺类分子的氨基  $\text{—NH}_2$ ，都是官能团，前者呈酸性，后者呈碱性。又如醇类分子中的羟基  $\text{—OH}$  反映醇的特性，烯烃分子中碳—碳双键  $\text{C}=\text{C}$  反映烯烃的特性。化合物的官能团是有机化合物分类的依

据之一。重要的官能团如下表：

名称	结构	名称	结构
双键	$\text{C}=\text{C}$	酯基	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{—C—O—R} \end{array}$
叁键	$\text{—C}\equiv\text{C—}$	硝基	$\text{—NO}_2$
卤基	$\text{—X}$	磺酰基	$\text{—SO}_2\text{OH}$ ( $\text{—SO}_3\text{H}$ )
羟基	$\text{—OH}$	酰胺基	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{—C—NH}_2 \end{array}$
		醚基	$\text{—C—O—C—}$
		氨基	$\text{—NH}_2$
		酮基	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{—C—} \end{array}$
		羧基	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{—C—OH} \end{array}$
		醛基	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{—C—H} \end{array}$

## 乙醇的结构

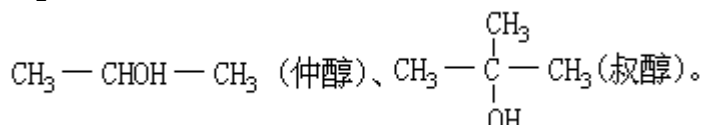
乙醇的分子组成是  $C_2H_6O$ 。其分子结构有两种可能，即：



用实验方法可以确定乙醇的分子结构究竟是哪一种：用一定量的无水乙醇，令其跟过量金属钠反应后，测量出所生氢气的体积，再把它换算成标准状况。经过进一步计算，最后结果是每摩乙醇只能生成约 0.5 摩氢气。由此可知，每个乙醇分子中只有一个氢原子被钠置换。那么，乙醇分子中原子排列顺序只有是上述的右式才是合乎实验结果的。乙醇分子中羟基的氢原子和氧原子间的电子云靠近氧原子，因之使氢原子具有一定程度的离子化倾向，故可被活泼的金属原子(如 K、Na、Mg)所置换。

## 醇 类

烃分子里的氢原子(苯环上的氢原子除外)被羟基取代后的生成物。醇的分类方法可有不同标准。按醇分子中羟基数目不同,可分为一元醇、二元醇、三元醇等;按烃基结构不同,可分为饱和醇、不饱和醇、芳香醇,如甲醇  $\text{CH}_3\text{—OH}$ , 丙烯醇  $\text{CH}_2=\text{CH—CH}_2\text{OH}$ , 苯甲醇  $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{OH}$ 。若按羟基所连接碳原子的不同,醇可为伯醇(连接羟基的碳原子上还有两个氢原子)、仲醇(连接羟基的碳原子上只有一个氢原子)、叔醇(连接羟基的碳原子上没有氢原子),如  $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{OH}$ (伯醇)、



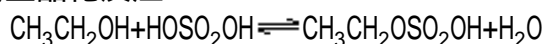
要注意的是:羟基直接连在苯环上的有机物属酚类,连在其它烃基(链烃基或环烃基)的碳原子上才属醇类,如  $\text{C}_6\text{H}_5\text{—OH}$  属酚,  $\text{C}_6\text{H}_5\text{—CH}_2\text{—OH}$  属醇。

低级饱和一元醇为无色中性液体,与水可无限混溶;4—11个碳原子的醇,为无色油状液体,可部分溶于水;高级醇为无色无臭固体,不溶于水。随着分子量的增加,醇的沸点升高。醇的化学性主要是:O—H键断裂;氢原子被代换;C—OH键断裂,羟基被取代或脱去羟基;由于羟基的影响,与羟基相连的碳原子上的氢原子也较活泼。醇的化学性质,可用反应式表示如下:1. 跟活泼金属(K、Mg、Na)反应,置换—OH中H

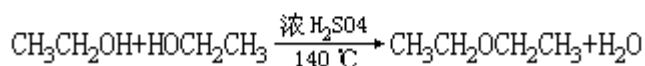
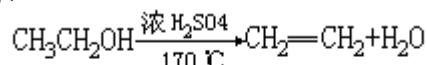
### 2. 与氢卤酸反应



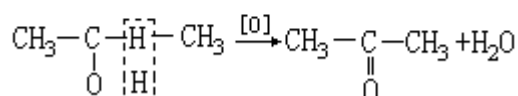
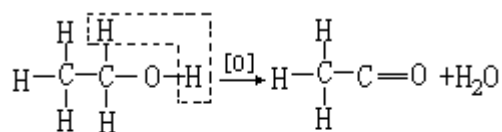
### 3. 与含氧酸发生酯化反应



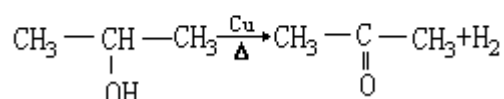
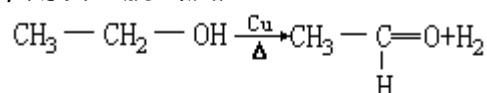
### 4. 脱水




### 5. 氧化 常用的氧化剂 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 或 $\text{CuO}$

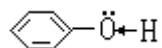


连接—OH的碳原子上如果没有氢原子,则很难氧化。如在隔绝空气条件和以Cu、Ag为催化剂时,则发生脱氢反应



## 苯酚的结构

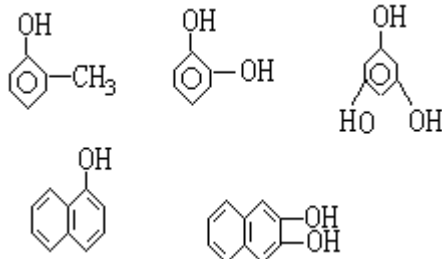
苯酚的结构式是：-O-H。苯酚分子中的苯环的结构与苯的结构是类似的。苯酚分子中羟基(-O-H)中的氢原子不与苯环处于同一平面上，而是位于苯环所处平面的一侧。羟基的氧原子含有孤对电子，这孤对电子的电子云受苯环电子云的作用而向苯环转移，因之诱导氢氧原子间的电子云向氧原子方向转移，使羟基中氢原子的离子化倾向大为增强，使苯酚在水中能微弱电离而呈弱酸性。



苯酚分子中，由于羟基的存在，使得苯环的活泼性增强，特别是羟基的邻对位上的氢原子易被取代。

## 酚 类

芳香烃苯环(苯环或稠苯环)上的一个或几个氢原子被羟基(—OH)代换后



的生成物属酚类。如：

都属酚类。根据分子中含羟基的数目，酚类可分为一元酚、二元酚、多元酚。绝大多数酚为结晶固体，多数微溶或难溶于冷水，较易溶于热水，溶于乙醇、乙醚等有机溶剂，如沾有酚类的玻璃容器需用乙醇清洗。酚类是芳香烃基和羟基结合而成，但芳香烃基和羟基之间存在着相互影响，使羟基具有不同于醇羟基的新的特性，即酚羟基显示弱酸性，能跟强碱作用生成酚盐；同时，芳香烃基受羟基的影响，较芳香烃易发生卤化、硝化、磺化等取代反应，如苯不跟溴水发生反应，而苯酚却跟溴水很容易反应生成三溴苯酚。大多数酚跟  $\text{FeCl}_3$  溶液作用显示特殊颜色，如苯酚遇  $\text{FeCl}_3$  溶液显示紫色。酚来源于煤焦油或芳香烃经磺化再经碱熔而得。酚的主要用途是制染料、药物、酚醛类树脂等。

### 乙醛的结构

乙醛的结构简式是  $\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H}$ ，其中  $-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H}$  是官能团，称为醛基。醛基是

由羰基( $-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-$ )和氢原子组成的。碳氧双键的电子结构与碳碳双键的电子结构同，两个碳氧键的键能并不相同，其中一个较小，容易断裂。由于羰基里的氧原子的吸引电子能力强，碳氧双键的电子云向氧原子转移；因之诱导碳氢键的电子云向碳原子有一定程度的转移，故醛基里碳氢键不完全同于烃分子里的碳氢键而具有较特殊的性质，如较易结合氧转化成羟基。

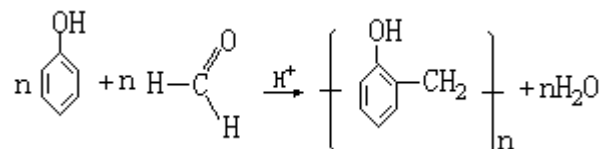
## 醛 类

醛基  $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{—C} \\ \text{H} \end{array}$  与 H 或烃基结合成的有机化合物称作醛。通式  $\text{R—}\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{—C} \\ \text{H} \end{array}$ ，其中

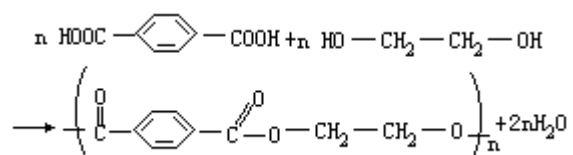
醛基简写为  $\text{-CHO}$ ，不要写成  $\text{-COH}$ 。根据醛基所结合的烃基的结构，醛可分为脂肪族醛和芳香醛。脂肪族醛又可再分为饱和脂肪醛和不饱和脂肪醛。饱和脂肪醛如乙醛 ( $\text{CH}_3\text{-CHO}$ )、丙醛 ( $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CHO}$ ) 等，其中甲醛、乙醛、丙醛溶于水， $\text{C}_4$  以上的醛由微溶于水至难溶于水；不饱和脂肪醛如丙烯醛 ( $\text{CH}_2=\text{CH-CHO}$ )，油脂过热时往往出现有辛辣气味气体产生，就是油脂在过热条件下分解出少量丙烯醛之故。芳香醛如苯甲醛 ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{-CHO}$ )、苯乙醛 ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_2\text{-CHO}$ ) 等。醛类分子中都含有共同的官能团—醛基，它们的化学性质相似，能加氢还原成醇、易发生氧化反应 (银镜反应、碱性  $\text{Cu(OH)}_2$  生成红色  $\text{Cu}_2\text{O}$ ) 而成羧酸。许多醛具有工业价值，如甲醛制酚醛塑料，40% 甲醛水溶液 (福尔马林) 在医药上作防腐剂，甲醛又是合成维纶的原料之一，乙醛用于合成醋酸等。

## 缩聚反应

具有两个或两个以上官能团的单体，相互反应生成高分子化合物，同时产生有简单分子(如  $H_2O$ 、 $HX$ 、醇等)的化学反应。如：甲醛跟过量苯酚在酸性条件下生成酚醛树脂(线型)



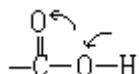
在碱性和甲醛过量条件下，则生成网状高分子再如：由对苯二甲酸和乙二醇合成聚酯树脂



缩聚反应是合成高分子化合物的基本反应之一，在有机高分子化工领域有重要应用。乙酸的结构

乙酸的结构简式是  $\text{CH}_3\text{C}(=\text{O})\text{OH}$ 。羧基是官能团，它决定着乙酸的基本化学

性质。羧基  $-\text{C}(=\text{O})-\text{OH}$  中，由于羧基中氧原子吸引电子的能力强，使得碳氧键的电子云偏向氧原子。羟基里的氧原子含有孤对电子，这孤对电子的电子云能和碳氧键的电子云有所重叠，使得羟基里氧原子的电子云向羧基转移，同时诱导氢氧键的电子云向氧原子转移，即氢氧键的极性增强了，在水溶液中能电离出  $\text{H}^+$  而显示酸性。电子云的转移如示：

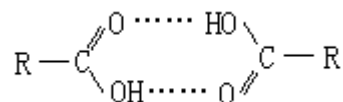


## 羧 酸

除甲酸外，羧酸是烃基和羧基结合成的化合物。按烃基不同，羧酸可分为脂肪酸和芳香酸，脂肪酸又可分为饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸。饱和脂肪

酸如丙酸  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{C}\begin{matrix} \text{O} \\ // \\ \text{OH} \end{matrix}$ ，不饱和脂肪酸如丙烯酸  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}\begin{matrix} \text{O} \\ // \\ \text{OH} \end{matrix}$ ，芳香酸如

苯甲酸  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ 。按分子中的羧基数目又可分为一元酸、二元酸等，如乙酸和己二酸  $\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$  等。低级脂肪酸在常温是液体，可溶于水，有刺鼻气味，中级脂肪酸是液体，微溶于水或难溶于水。饱和高级脂肪酸为固体，而不饱和高级脂肪酸多为液体，饱和高级一元脂肪酸如十八酸  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$  为白色蜡状固体，而十八烯酸  $\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$  则为油状液体；不饱和程度更大的脂肪酸如十八碳三烯酸，也是液体。芳香酸是结晶固体，在水中溶解度不大。羧酸的沸点比分子量相当的烷烃、卤代烃、醇等都要高，这是因为在羧酸的分子间能以氢键作用产生分子缔合的结果，缔合作用示意如下：



羧酸具有酸的通性，即跟活泼金属反应，置换羧基中羟基的氢、跟碱中和成羧酸盐和水、跟  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  反应生二氧化碳、溶于水使石蕊变红(不溶于水的不能)。羧酸分子的羧基中虽有羰基  $\text{C}=\text{O}$ ，但很难加氢还原，而在强还原

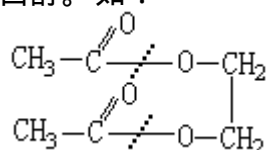
剂(氢化铝锂  $\text{LiAlH}_4$ )作用下可还原成醇。芳香羧酸的苯环上可以发生取代(如卤化、硝化等)反应。羧酸广泛用于合成树脂、染料、医药和香料工业中。



## 酯

酯是酸(羧酸或无机含氧酸)跟醇脱水生成的化合物。酯的一般通式为  $R-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-O-R'$  ,其中 R 和 R' 可以相同或不同。酯的名称是根据酸和醇的名称来

命名的。如  $CH_3-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-O-CH_3$  乙酸甲酯,  $H-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-O-CH_2-CH_3$  甲酸乙酯,  $C_2H_5-O-NO_2$  硝酸乙酯,  $(C_2H_5O)_2SO_2$  硫酸乙酯。此外,还有碳酸酯和磷酸酯等。根据羧酸酯的结构简式命名时,首先要正确区分哪部分基团来自羧酸,哪部分来自醇。酰基来自羧酸,其余部分来自醇。如:

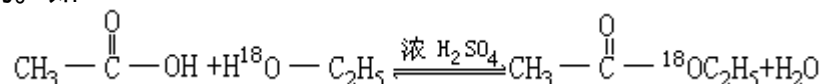


虚线左侧部分是乙酰基(两个),右侧部分来自醇(乙二

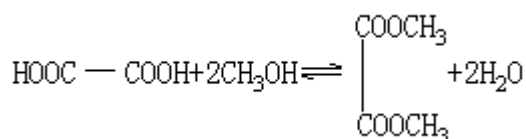
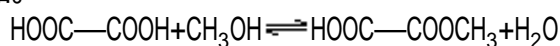
醇),该化合物名称为:二乙酸乙二酯。又如  $CH_3-O-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-CH_2-CH_3$ ,虚线右侧部分是丙酰基,左侧部分来自醇(甲醇),该化合物名称为:丙酸甲酯。酯类广泛存在于自然界中。低级羧酸酯是有芳香气味的液体,存在于各种水果和花草中,如梨里含乙酸异戊酯。虫蜡中含高级脂肪酸与高级一元醇组成的酯,动植物脂肪主要是高级脂肪酸与甘油组成的酯。酯类一般难溶于水,比水轻,易溶于乙醇、四氯化碳、乙醚等有机溶剂。人工合成的低级羧酸酯常用做食品香料或有机溶剂。高级脂肪酸甘油酯,有的供食用,有的还是制造高级脂肪酸、甘油、肥皂、油漆的原料。酯类的重要化学性质是能发生水解。在酸性条件下,水解生成酸和醇;在碱性条件下,水解生成盐和醇。

## 酯化反应

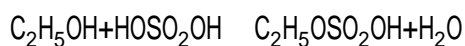
醇跟酸生成酯和水的反应，叫酯化反应。分两种情况：羧酸跟醇反应和无机含氧酸跟醇反应。羧酸跟醇的反应过程一般是：羧酸分子中的羟基与醇分子中羟基的氢原子结合成水，其余部分互相结合成酯。这是曾用示踪原子证实过的。如



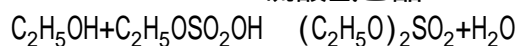
羧酸跟醇的酯化反应是可逆的，并且一般反应极缓慢，故常用浓硫酸作催化剂。多元羧酸跟醇反应，则可生成多种酯。如乙二酸跟甲醇可生乙二酸氢甲酯或乙二酸二甲酯。



无机强酸跟醇的反应，其速度一般较快，如浓硫酸跟乙醇在常温下即能反应生成硫酸氢乙酯。

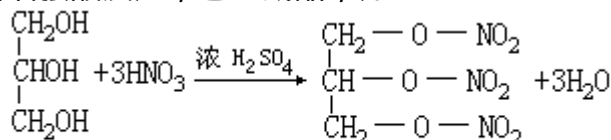


硫酸氢乙酯



硫酸二乙酯

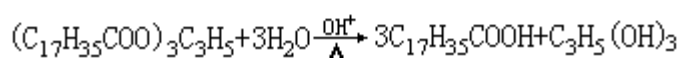
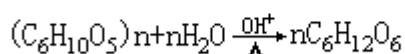
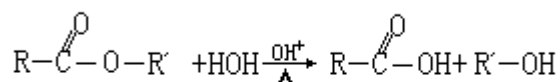
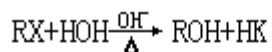
多元醇跟无机含氧强酸反应，也生成酯，如：



三硝酸甘油酯  
(俗称硝化甘油)

## 水解反应

水解反应通常包括盐水解和有机化合物水解两类。这里是指有机化合物的水解。有机化合物的水解是有机物分子中的某种原子或原子团被水分子的氢原子或氢氧原子团代换的反应。有机化合物的水解速度通常很缓慢，常常需用催化剂(酸或碱)。如卤代烃、酯(含油酯)、二糖、多糖等，都能发生水解。



酯的水解，如在碱性条件下，则生成羧酸盐和醇。有机化合物通过水解反应，在工业上有重要价值，如淀粉在酸性条件下水解后，经浓缩结晶，制得葡萄糖；油脂在碱性条件下水解后，经分离可制得肥皂和甘油。

## 去污原理

常用的洗涤剂有肥皂和合成洗涤剂。肥皂和合成洗涤剂的成分一般是有机酸(包括羧酸和烷基磺酸)的钠盐。从结构上看,这些钠盐可分为两部分,一部分是极性的 $\text{-COONa}$ 或 $\text{-SO}_3\text{Na}$ ,这部分可溶于水,叫做亲水基;另一部分是非极性的链状(或有芳香环)的烃基,这部分不溶于水,叫做憎水基。憎水基具有亲油的性质。在洗涤过程中,污垢中油污接触洗涤剂后,洗涤剂分子的烃基就插入油污内,而易溶于水的亲水基部分伸在油污外面,插入水中。这样,油污滴就被洗涤剂包围起来,再经摩擦、振动,大的油污滴分散成小的油污滴,最后脱离被洗的纤维织品,而分散到水中形成乳浊液,从而达到洗涤目的。洗涤剂分子中烃基部分一般含碳原子10个以上。烃基含碳原子太少时,烃基跟油的结合力不强;相反,烃基含碳原子太多时,亲水性下降。烃基中碳原子太多或太少都会降低洗涤剂的去污能力。

## 甲烷的物理性质

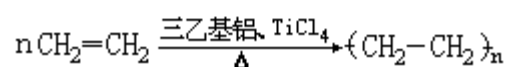
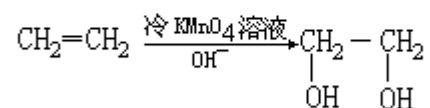
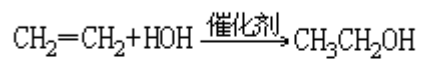
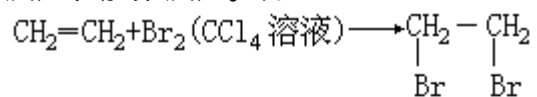
甲烷是烃类分子组成最简单的物质，化学式  $\text{CH}_4$ 。甲烷是无色、无味的气体，难溶于水，密度(标准状况)0.717 克/升，沸点-161.5 ，熔点-182.48 。沼气、坑气、天然气的主要成分是甲烷。天然气中的甲烷经低温和加压液化，可以用特殊船舶越洋运输。甲烷的化学性质甲烷性质稳定，跟酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液或溴水均不发生反应。在一定条件下，甲烷能发生卤代反应( $\text{Cl}_2$ ， $\text{Br}_2$ )和热分解(分解成 C、 $\text{H}_2$ 、 $\text{C}_2\text{H}_2$  等)等反应。甲烷燃烧时火焰呈青白色。点燃甲烷和空气的混合气会发生爆炸。甲烷在空气里的爆炸极限是 5.3 ~ 14.0% (体积)，在氧气里的爆炸极限是 5.4 ~ 59.2% (体积)。

## 乙烯的物理性质

乙烯在常温常压下为无色气体，稍有香甜气味，比空气稍轻，难溶于水。  
沸点(常压) $-103.71$  ，熔点 $-169.15$  。

## 乙烯的化学性质

乙烯可燃，燃烧时火焰明亮。与空气形成爆炸性混合物。爆炸极限：下限 3~3.5%，上限 16~29%。由于乙烯分子中存在双键，性质活泼，容易进行加成反应。氧化反应和加聚反应。如：



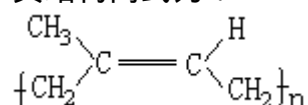
## 乙烯的用途

乙烯是石油化工的一种基础原料，用于制造合成橡胶、合成树脂(如聚苯乙烯、聚氯乙烯)、合成纤维、炸药、乙醇、乙醛、醋酸、环氧乙烷等有机合成产品，并可以代替乙炔用以切割或焊接金属，还可以作为人工使水果成熟的促进剂。乙烯用于制造树脂和塑料的消费量最多。



## 橡 胶

有天然橡胶和合成橡胶。天然橡胶是从橡胶树流出的乳液制成的。巴西橡胶树是世界上种植面积最广和产量最高的品种。巴西橡胶树从 19 世纪后期才逐渐移植到东南亚地区，后来我国在海南岛、云南等地也大量种植，除此之外。有希望种植的还有银胶菊和橡胶草。割开橡胶树皮流出的白色乳液含橡胶 20~40%，经酸化凝固、压片、熏烟制得干胶片，这就是生橡胶。生橡胶虽有弹性，其使用性能受温度和其它因素影响较大。生橡胶经硫化(1839 年发明)后，其使用性能得到大大改善，这就是硫化橡胶，为橡胶工业的发展奠定了基础。橡胶树的栽培虽得到很大发展，但产量仍不能满足军事及工农业的需要。1900 年~1910 年化学家 C.D. 哈里斯(Harris)测定了天然橡胶的结构是异戊二烯的高聚物，其结构简式为：

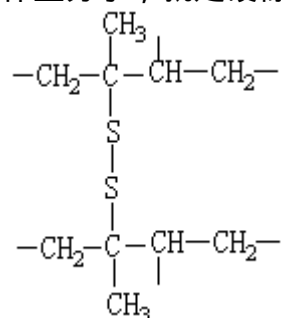


这就为人工合成橡胶开辟了途径。1910 年俄国化学家 S·V 列别捷夫(Lebedev, 1874—1934)以金属钠为引发剂使 1,3—丁二烯聚合成丁钠橡胶，以后又陆续出现了许多新的合成橡胶品种，如顺丁橡胶、氯丁橡胶、丁苯橡胶等等。合成橡胶的产量已大大超过天然橡胶，其中产量最大的是丁苯橡胶。

## 橡胶的硫化

生橡胶受热变软，遇冷变硬、发脆，不易成型，容易磨损；易溶于汽油等有机溶剂；分子内具有双键，易起加成反应，容易老化。生产上要进行硫化等一系列加工过程，以改善橡胶制品的性能。生橡胶的分子是线型高分子，呈蜷曲的形状，在外力作用下由蜷曲变为伸展，外力消失后又能够恢复其原蜷曲状态，这是具有弹性的必要条件。但链跟链之间容易滑动，强度和韧性差，必须经过交联，使分子链跟分子链之间有化学键的联系，通过交联，使线型高分子交联成网状结构，分子链间才不能滑动，具有可逆高弹变形，强度和韧性大为增强。变成有实用价值的橡胶。交联的方法通常是硫化。硫化就是在生橡胶中混炼入一定量的硫黄，然后把它放进成型模具内并加热(约 140 )，硫原子即通过化学键使高分子链间发生交联，得到硫化橡胶制品。硫化过程是很复杂的，常是形成双硫键起交联作用。如图所示：(见下页)

硫化时，所加硫通常占总量 3% 左右，交联程度低，得到的橡胶制品有很好的弹性、韧性等；如果加硫达 30% 左右，高分子链的不饱和碳原子几乎都被交联，生成高度交联的体型分子，就是硬橡胶。



## 橡胶的老化

一般橡胶制品只达到轻度交联。高分子链上还有双键，受氧气、臭氧、日光，特别是高能辐射的作用，还容易老化。贮存或使用已久的车胎发生龟裂。乳胶手套或乳胶管会发粘或变硬变脆，其它橡胶制品会出现弹性下降，变硬开裂或变软发粘等，都是老化现象。橡胶的老化主要是化学老化，即由于发生复杂的化学反应而老化。化学老化可以分为降解和交联两种类型。降解是指高分子受紫外线、热、机械力等因素的作用而发生高分子链的断裂；交联是指高分子碳—氢键断裂，在分子链间出现了新的结合而形成网状结构。降解和交联对橡胶的性能有很大影响。降解使高分子的分子量下降，材料变软、变粘，抗拉强度降低；交联使材料变硬、伸长率下降。空气中的氧气和日光照射是引起橡胶老化的主要因素。乙炔的物理性质

$\text{CH} \quad \text{CH}_2$ 。在常温常压下，纯净的乙炔是无色、略带酯味的气体，密度 1.16 克/升。熔点 $-81.8$ ，升华点 $-83.6$ 。微溶于水，溶于乙醇，易溶于丙酮。由电石跟水反应产生的乙炔，因含有  $\text{H}_2\text{S}$  和  $\text{PH}_3$  等杂质而具有难闻的气味。乙炔在不超过 1.5 公斤/厘米<sup>2</sup> 压力下，可容入钢瓶里的丙酮中贮存。

## 乙炔的化学性质

乙炔和其它类烃相比，稳定性较差，易分解成碳和氢。乙炔分子分解时放出大量热，其热量足以使乙炔发生连锁反应，故乙炔在加压、加热时可能发生爆炸。某些金属及其氧化物对乙炔的分解有明显催化作用，而且氧化物远比纯金属剧烈。乙炔与金属铜接触产生高爆炸性的乙炔铜。在过热或撞击下，少量乙炔铜爆炸会迅速引起大量乙炔发生爆炸，故在生产乙炔和乙炔加工装置中，通常不允许使用铜和铜合金材料制造管道、阀门等。乙炔燃烧时，火焰明亮有浓厚黑烟。乙炔与空气能形成爆炸混合物，其爆炸范围较其它可燃气体都大。乙炔与氯气混合，在光照下即发生爆炸。乙炔的性质活泼，容易跟许多物质发生化学反应，如受酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液氧化，容易发生加成反应 ( $\text{Br}_2$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{HCl}$  等)和加聚反应等。

## 乙炔的用途

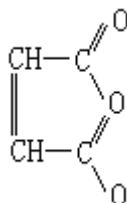
乙炔的化学性质很活泼，可跟许多物质发生化学反应，衍生出上千种有机化学品。如与氯化氢发生加成反应生成氯乙烯，氯乙烯作为单体经加聚反应得到聚氯乙烯；乙炔跟乙酸反应得到乙酸乙烯酯，可进一步制得维尼纶；乙炔二聚得乙烯基乙炔，进而跟氯化氢加成得氯丁二烯，氯丁二烯经加聚反应制得氯丁橡胶；乙炔跟氰化氢加成得丙烯腈，丙烯腈经加聚反应制得聚丙烯腈等。乙炔在纯氧气中燃烧所产生的温度很高，用于气焊和气割。

## 苯的物理性质

苯在常温下为无色透明液体。密度(15 )0.885 克/厘米<sup>3</sup>，沸点 80.10 ，熔点 5.53 ，易挥发，有强烈芳香气味。有毒。难溶于水，易溶于乙醇、乙醚等有机溶剂。

## 苯的化学性质

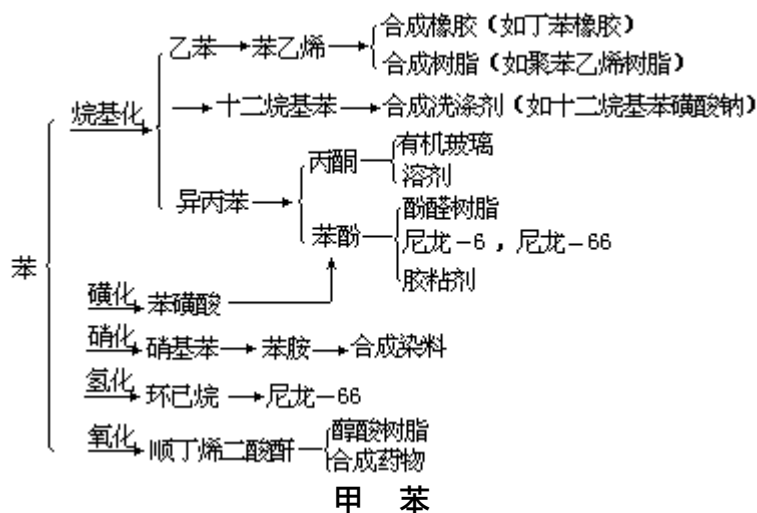
苯的化学性质较稳定，对酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液和溴水均无反应。易燃，燃时有浓黑烟。苯的化学反应可分为三大类：取代反应，如硝化反应和磺化反应；加成反应，如在镍为催化剂作用下，苯跟  $\text{H}_2$  反应生成环己烷；苯环破裂反应，如苯在  $\text{V}_2\text{O}_5$  催化剂作用和加热条件下，用空气氧化生成顺丁烯二酸酐：

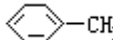


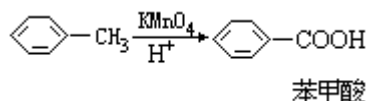
通过这些反应，可由苯制成多种重要的化学中间体，它们是合成橡胶、塑料、纤维、洗涤剂、染料、医药、农药、炸药等的重要基础原料。

## 苯的用途

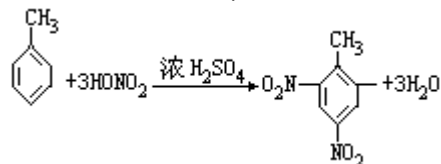
过去，苯的主要用途是作汽油的掺合物，以提高汽油的辛烷值。随着石油化学工业的发展，作为化工原料的苯的用量越来越大，其中制苯乙烯、环己烷和异丙苯所耗用的量最多，约占世界总产量的80%。我国70年代纯苯的产量为16.67万吨，1983年达42.5万吨。苯的主要用途见下表：



结构简式为 -CH<sub>3</sub>。常温下为无色、透明的液体，密度0.8719克/厘米<sup>3</sup>，有类似苯的芳香气味，沸点(常压)110.63，熔点-94.99。甲苯不溶于水，溶于乙醇、乙醚和丙酮。蒸气和空气形成爆炸性混合物，爆炸极限1.2~7.0%(体积)。如甲苯溶解溴后，在光照条件下，甲基上的氢原子被溴原子取代(与甲烷相似)而在铁作催化剂条件下，苯基上的氢原子被溴原子取代(与苯相似)；但甲苯分子中存在着甲基和苯基的相互影响，使得甲苯又具有不同于苯和甲烷的性质，如苯环上的取代反应(卤化、硝化等)，甲苯比苯容易进行，甲烷不受酸性KMnO<sub>4</sub>溶液氧化，而甲苯分子中的甲基则可以。



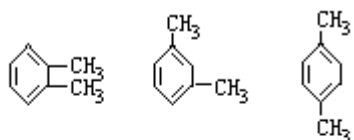
甲苯跟混酸(浓硝酸与浓硫酸的混合物)反应而得



三硝基甲苯(又称梯恩梯)是最重要的一种军事炸药。甲苯还用于制糖精、药物和染料等，并用作溶剂。由分馏煤焦油的轻油部分或由催化重整轻汽油馏分而制得。二甲苯

化学式C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>。无色透明易挥发的液体。有芳香气味，有毒，难溶于水，易溶于有机溶剂。由于甲基在苯环上的位置不同，二甲苯有三种同分异构体：

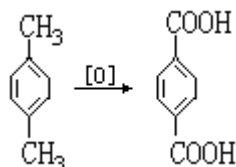




邻二甲苯      间二甲苯      对二甲苯

沸点(°C)	144.41	139.10	138.35
熔点(°C)	-25.17	-47.40	13.26
密度(克/厘米 <sup>3</sup> )	0.880	0.864	0.861

二甲苯的化学性质与苯有相似之处，如苯环上发生取代反应(卤化、硝化、磺化等)；也有不同的一面，如受酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液氧化，甲基转化成羧基



对二甲苯用于生产对苯二甲酸，是聚酯纤维和工程塑料(PBT)的原料。邻二甲苯是生产苯酐的主要原料。二甲苯除从煤焦油获得少量外，大部分是由催化重整的轻汽油经分馏而得。

## 石 油

从地下开采出来的一种粘稠的液体燃料。它是由古代低级动植物遗体在地壳和细菌作用下，经过长期复杂的生物、化学变化而形成的。从田里开采出来的未经加工处理的石油叫原油，通常显黑色或深棕色，有蓝(或绿)色荧光，有特殊的气味，不溶于水，密度比水小，没有固定的熔、沸点。其化学成分十分复杂，含有烷烃、芳香烃和环烷烃。主要的元素组成是碳、氢、氧、氮、硫，还含有水、氯化钙、氯化镁等无机盐。因此原油必须经脱水、脱盐处理后才能炼制。石油是一种极其重要的资源，经过分馏、催化裂化可以制得汽油、煤油、柴油等燃料和各种润滑油及许多气态烃(炼厂气)。以石油为原料，经过裂解等一系列化工过程可以制得三大合成材料(塑料、橡胶、纤维)等重要产品，因此，石油被称为“工业的血液”。我国石油储量丰富，除已开发的克拉玛依、大庆、大港、任丘、胜利等油田，我国大陆沿海、近海都蕴藏着丰富的石油资源，许多新油田正在勘探和建设中。我国的石油产量由1949年的12万吨、世界第27位上升到1984年的1.15亿吨、居世界第6位。现在我国原油加工能力已超过1.03亿吨。居世界第7位。石油的分馏

在分馏塔中同时进行多次部分蒸发与部分冷凝，按不同的沸点范围，把精制过的原油分成不同馏分的石油加工过程。其主要设备是常、减压分馏塔。原油经过脱水和脱盐处理后，先进入常压分馏塔，操作时把从塔顶冷凝得到的液体的一部分重新打入塔内，与从塔底连续上升的蒸气充分接触，进行传热与传质，使液态中的低沸点物气化，蒸气中的高沸点物冷凝，从而提高原油中各组分的分离程度。由常压塔顶导出的液体馏分为直馏汽油、煤油柴油和重油，其中的直馏汽油主要成分以正构烷烃( $C_5 \sim C_{11}$ )为多，辛烷值低，不能直接用作动力燃料，需经催化重整；塔底导出的沸点400 以上的重油加热后进入减压分馏塔，在减压状态下继续分馏，以提高各种直馏油分的产量。石油的常减压分馏又称石油的一级加工。所得馏分需经催化重整、催化裂化等二级加工才能成为各种优质油分。石油的分馏是物理过程。

## 石油的裂解

将石油分馏产品在比裂化更高的温度(800 ~ 1000 )下进行深度裂化,主要得到小分子气态烃和少量轻质液态烃(汽油)。“裂解”和“裂化”虽是一类反应,但目的不同,产物不同。裂解的主要目的是获得小分子气态烯烃、炔烃、烷烃的混合物,其中低级不饱和烃可直接成为合成塑料、橡胶、纤维的原料;而“裂化”(或“催化裂化”)则是为了提高汽油的产量和质量,以增加轻质燃料油为主要目的。石油的裂解是石油化工的主要组成部分,石油裂解气的主要成分——乙烯的产量通常作为衡量石油化工发展水平的标志。我国的石油化工起始于50年代,70年代后发展较快,乙烯及三大合成材料有了较大增长(见下表)

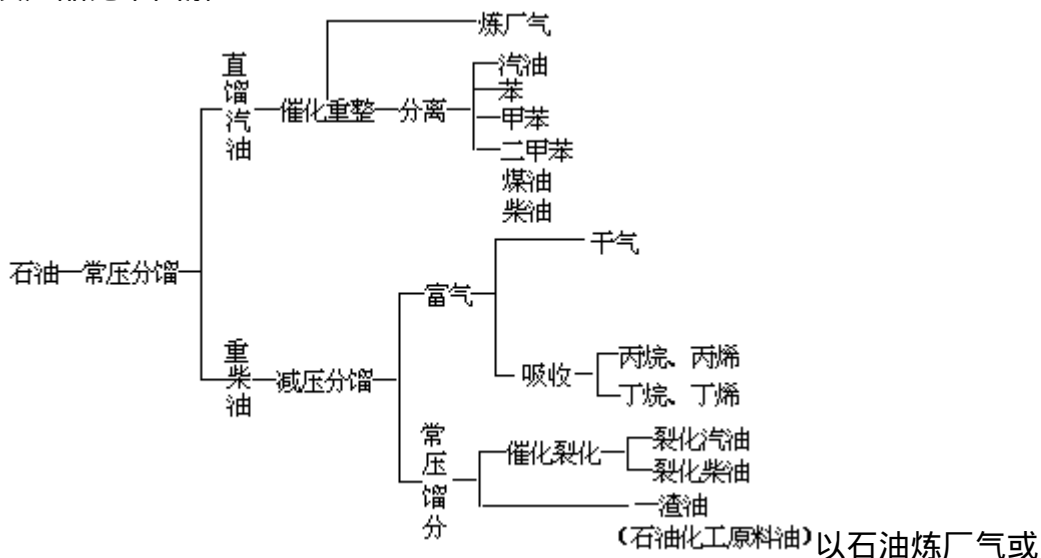
1980 ~ 1985年,我国乙烯及三大合成材料产量(万吨)

产 品	1980	1981	1982	1983	1984	1985
乙 烯	49.0	50.3	56.0	65.0	64.8	65.1
塑 料	89.7	91.6	100.3	112.0	116.0	120.8
合成纤维	31.4	38.5	37.3	40.2	73.5	94.5
合成橡胶	10.2	12.5	13.5	16.7	17.4	18.1

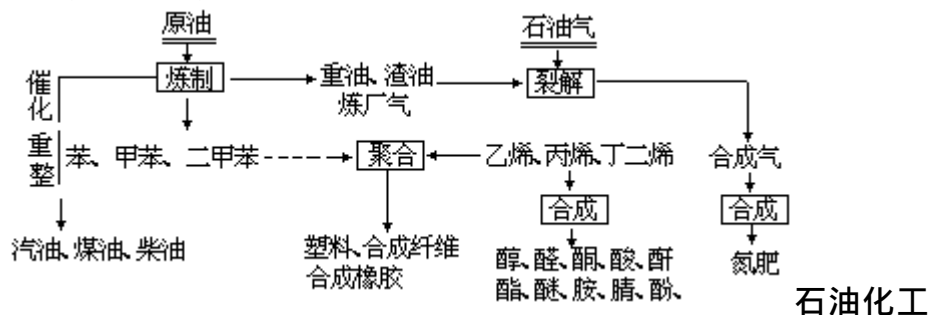
(台湾省产量未计入)

## 石油产品

包括石油炼制产品和石油化工产品。根据我国石油的成分、性质及对产品的需求，我国石油炼制采用较多的是燃料—化工型炼制方案。其炼制过程及产品见下图解：



以石油炼厂气或渣油、原油为原料进行二级加工——裂解所得产品称为石油化工产品，多达数千种，其中最重要的有六大基础原料(又称三烯、三苯即乙烯、丙烯、丁二烯、苯、甲苯、二甲苯)，三大合成材料(塑料、合成纤维、合成橡胶)，十大基本有机原料(醇、醛、羧酸、酸酐、酯、醚、胺、腈、酚、酮)以及氮肥。其主要生产过程及产品如下图：



是指以石油天然气为原料，生产基本有机化工原料，并进一步合成多种化工产品的工业。其原料来源主要有天然气、炼厂气、液体石油产品或原油。原料烃类分子中含氢量越高，分子量越低，乙烯产率越高。裂解反应是强烈的吸热反应，因此原料在管式炉(或蓄热炉)中经过 700~800 甚至 1000 以上的高温加热，所得裂解产物通常称为石油化工一级产品，通常称为三烯、三苯、一炔、一萘(乙烯、丙烯、丁二烯、苯、甲苯、二甲苯、乙炔和萘)。石油化工的一级产品再经过一系列加工则可得二级产品，如乙醇、丙酮、苯酚等二三十种重要有机原料。因此石油化工已成为现代有机合成的基础工业。我国石油资源丰富。石油化工的发展迅速，1949 年我国原油加工能力约 17 万吨，只有蒸馏、热裂化、叠合、离心脱蜡等少数炼油装置，而且规模都很小，50 年代恢复并建成年加工原油 100 万吨的兰州炼油厂，60 年代依靠自己的力量建成年加工原油 150 万吨的大庆炼油厂，而且掌握了延迟焦化、催

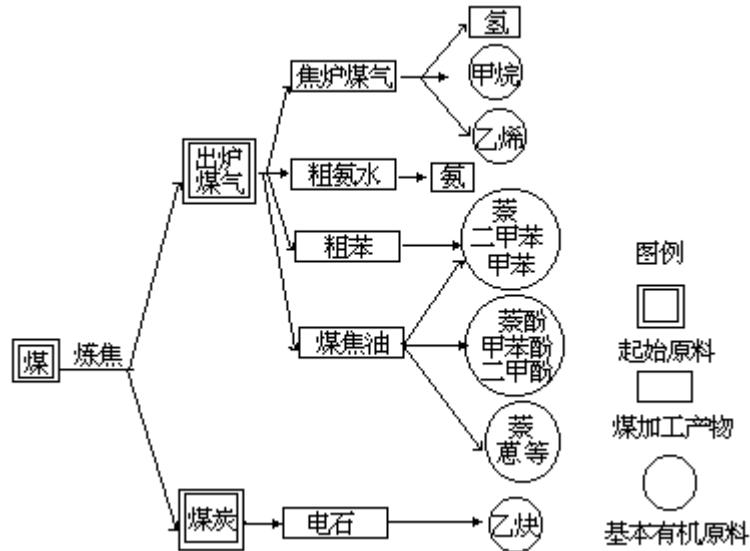
化裂化、铂重整、尿素脱蜡、分子筛脱蜡.....等新型工艺及装置，大大缩短了与世界炼油技术先进水平的差距。到 1984 年，我国已拥有年加工原油 350 万吨以上的现代炼油厂 44 个。

1984 年世界主要国家原油加工能力和炼厂数

国别	原油加工能力 (千吨/年)	占世界能力 的比例(%)	炼厂数
全世界	3707610		702
美国	756810	20.4	191
苏联	600000	16.2	38
日本	240650	6.4	45
意大利	154760	4.2	23
法国	119300	3.2	17
联邦德国	108580	2.9	25
中国	104000	2.8	44
英国	100390	2.7	16
加拿大	93430	2.5	27
荷兰	74930	2.0	7
西班牙	74650	2.0	10
巴西	65260	1.8	13
墨西哥	63450	1.7	9

## 煤的干馏

把煤隔绝空气加强热使之分解的过程。工业上是把煤放在炼焦炉内，隔绝空气加热到 1000 ~ 1300 (高温干馏)，使煤分解，得到三部分产物：气体产物—煤气，液体产物—煤焦油，固体产物—焦炭。煤炼焦的意义(综合利用)及规模很大，全世界用于炼焦的煤达数亿吨。用炼焦的方法及一系列吸收、分馏制取焦炭、煤气和氨水、苯、甲苯、二甲苯、萘等化工产品的工业称为炼焦化学工业。由煤炼焦制取基本有机原料示意图如下：



## 煤的综合利用

煤不仅是一种常用燃料，是热能和动力的主要来源之一，而且可以对它进行化学加工得到大量的基本有机原料。煤的综合利用加工途径主要有：(1) 炼焦(干馏)，(2) 气化，(3) 生产电石。用煤炼焦获得各种有机原料(参看煤的干馏)，但炼焦只能把煤中的一部分有机物提取出来加以利用，而用气化的方法，则可能利用煤中所含的几乎全部有机物。煤的气化，就是利用空气、水蒸气或其它气体在高温下将煤中的有机物转变成含有  $\text{CO}$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{H}_2$  等的煤气的一种方法。因为是把固体的煤变成气体，故称煤的“气化”。煤的气化是化学变化。使煤气化的主要目的是将固体燃料转化为气体燃料，可以用管道输送，使用方便，燃烧时清洁，便于控制火焰的温度。煤的气化同时也是获取“合成气”的重要途径，因为  $\text{CO}$  和  $\text{H}_2$  的混合物可以用来合成甲醇、醛、酮、酸、饱和烃、烯烃、芳香烃、及合成氨等一系列化工产品，比将煤直接燃烧经济上合算得多。我国是世界上煤藏量最丰富的国家之一，煤的综合利用的远景十分可观。1984 年我国产煤 7.89 亿吨，其中用于炼焦约 8.2%，气化约 5.6%；全国共有大、中、小型焦化厂 120 多座，焦炉 280 余台，年产焦炭 3900 万吨，居世界第四位。这些焦炭用于高炉炼铁的约占 55%，用于制合成氨的占 13%，用于铸造的占 6.7%，用于制电石的占 2.8%。与世界先进国家相比，我国的煤化工的规模与新工艺还有待进一步的发展。

## 聚乙烯

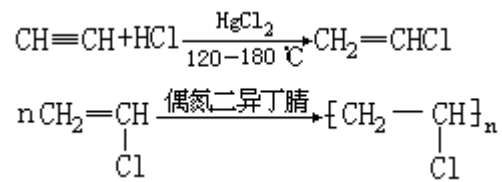
结构式 $\{\text{CH}_2 - \text{CH}_2\}_n$  分子量由一万到几百万，由乙烯经加聚而得到的一种热塑性树脂。无毒，具有优良的耐低温性能(最低使用温度可达 $-100^\circ\text{C}$ )，化学稳定性好，能耐酸、碱的腐蚀(氧化性酸除外)。电绝缘性能好，但耐热、耐老化性能差。聚乙烯可用吹塑挤压、注塑成型等方法加工，广泛用于制造薄膜(作为各种食品、医药、化肥、农用薄膜及工业品包装材料)、中空制品(如桶、瓶、贮罐等)，纤维(用于生产渔网、绳索)及日用杂品。超高分子量聚乙烯有良好的耐环境应力开裂、低吸湿、耐疲劳、高抗冲击等性能，可用做纺织机械上耐磨、耐冲击的零部件，如皮结齿轮、垫圈等。乙烯聚合  $n\text{CH}_2=\text{CH}_2 \rightarrow \{\text{CH}_2 - \text{CH}_2\}_n$ ，工业上有高压法( $150 \sim 300 \times 10^5\text{Pa}$ ， $180 \sim 200^\circ\text{C}$ )、中压法( $1.8 \sim 8 \times 10^5\text{Pa}$ ， $130 \sim 270^\circ\text{C}$ ，过渡金属氧化物作催化剂)和低压法( $1.4 \times 10^5\text{Pa}$ ， $100^\circ\text{C}$ 以下  $\text{TiCl}_4 - \text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$  为催化剂)三种。低压法可得结晶度高的高密度聚乙烯，有许多特殊用途。



## 聚氯乙烯

结构式  $\left[ \text{CH}_2 - \underset{\text{Cl}}{\text{CH}} \right]_n$ ，是由氯乙烯加聚得到的热塑性树脂。分子量为

5 万到 12 万。无固定熔点，有较好机械性能和电绝缘性能，对光和热的稳定性差，长时间光照及 140℃ 以上高温会分解产生氯化氢。实际应用中需加入稳定剂，以提高对光和热的稳定性。该树脂耐化学腐蚀，不易着火。注塑时加入适当稳定剂、增塑剂和润滑剂，经加工成型可制成硬质热塑性塑料，以代替金属制成各种工业型材、管材、机械零件、绝缘板、印刷板及防腐材料等；软质热塑性塑料主要用做包装材料和防雨材料；还可制作人造革、地板、录音材料、合成纤维(氯纶)、家具，运动器材等。聚氯乙烯通常是由乙炔在金属卤化物催化下与氯化氢加成制得氯乙烯单体，再经加聚而得：

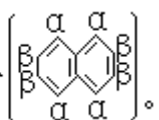


## 萘

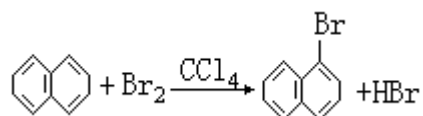
结构最简单、工业上最重要的稠环芳香烃，分子式  $C_{10}H_8$ ，结构式为：



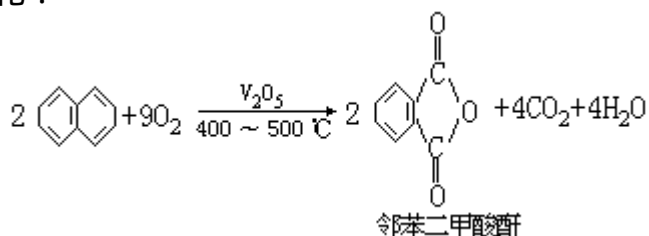
是无色有光泽的片状晶体，熔点为  $80.5\text{ }^\circ\text{C}$ ，沸点为  $218\text{ }^\circ\text{C}$ ，密度为  $0.9625\text{ 克/厘米}^3$  (100 )，不溶于水，易溶于苯、乙醚和热乙醇，易升华，有特殊气味。化学性质与苯相似，取代反应比加成反应容易进行。萘的取代

反应一般发生在  $\alpha$  位置上 

例如：



萘比苯容易氧化：



邻苯二甲酸酐是制染料、药物、塑料的重要原料。工业上的萘大部分用于生产邻苯二甲酸酐。煤焦油中含萘可达 10%，可以从煤焦油的中油馏分或右油产品裂化所得的高沸点馏分用结晶法分离获得。

## 乙醇的物理

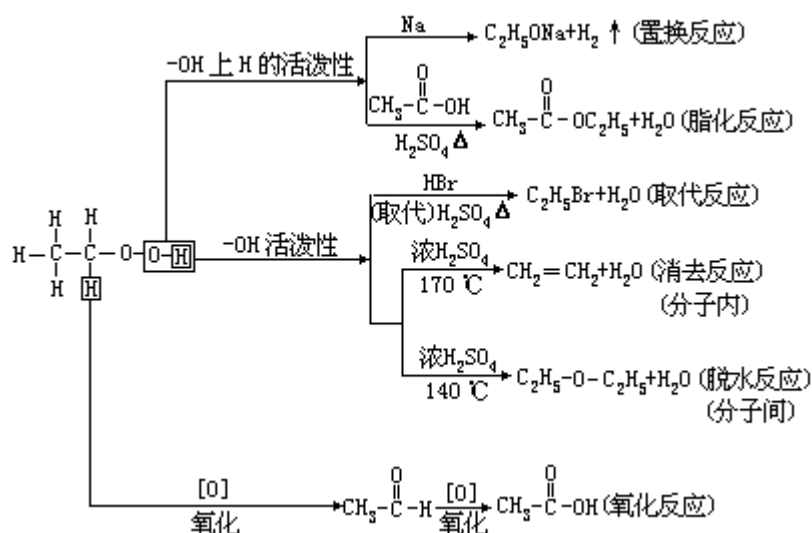
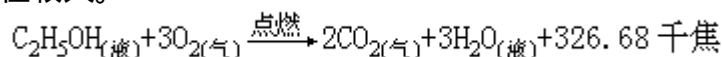
性质乙醇分子由烃基( $\text{—C}_2\text{H}_5$ )和官能团羟基( $\text{—OH}$ )两部分构成,其物理性质(熔沸点、溶解性)与此有关。乙醇是无色、透明、有香味、易挥发的液体,熔点 $-117.3$ ,沸点 $78.5$ ,比相应的乙烷、乙烯、乙炔高得多,其主要原因是分子中存在极性官能团羟基( $\text{—OH}$ )。密度 $0.7893$ 克/厘米<sup>3</sup>,能与水及大多数有机溶剂以任意比混溶。乙醇水溶液的体积百分数称为“度”,用来表示乙醇的浓度。各种饮用酒里都含有乙醇,啤酒含 $3\sim 5\%$ ( $3\sim 5$ 度),葡萄酒含 $6\sim 20\%$ ( $6\sim 20$ 度),黄酒含 $8\sim 15\%$ ( $8\sim 15$ 度),白酒含 $50\sim 70\%$ ( $50\sim 70$ 度)。酒精过量能引起中毒,因此青少年不能饮用含酒精的饮料。工业酒精含乙醇约 $95\%$ 。含乙醇达 $99.5\%$ 以上的酒精称无水乙醇。含乙醇 $95.6\%$ 水 $4.4\%$ 的酒精是恒沸混合液,沸点为 $78.15$ ,其中少量的水无法用蒸馏法除去。制取无水乙醇时,通常把工业酒精与新制生石灰混合,加热蒸馏才能得到。工业酒精和卫生酒精中含有少量甲醇,有毒,不能掺水饮用。

## 乙醇的化学性质

主要是由羟基( $\text{-OH}$ )官能团引起的,在化学反应中涉及到两种键的断裂: $\text{C-O}$ 键断裂而脱掉 $\text{-OH}$ ,如与氢卤酸的取代反应和浓硫酸存在下的脱水反应;或 $\text{O-H}$ 键断裂而脱掉 $\text{-H}$ ,如与金属钠的置换反应和有机酸的酯化反应;与羟基相连碳原子上的氢还能发生氧化反应。如下表页所示。

## 乙醇的用途

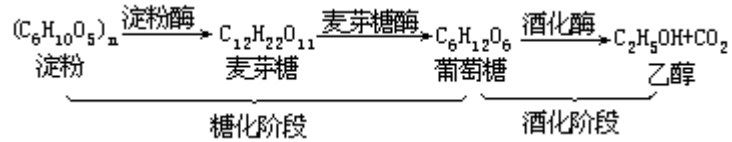
乙醇是应用最广泛的一种醇。因其性质比较活泼，是有机合成的重要原料，如用乙醇制乙醚、乙醛、乙酸等；因它具有广泛的溶解性，是重要的有机溶剂，用于溶解树脂、制作涂料等；因其在空气中燃烧充分，可避免污染，而且燃烧热值较大。



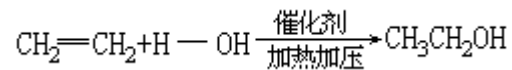
可用作内燃机和实验室的燃料；因 75% 的酒精能立即使蛋白质变性(凝固)，在医药上常用作消毒剂和防腐剂；乙醇还广泛用作饮料和食品添加剂，但必须注意：不能超量饮用，以免引起酒精中毒，青少年尤其不宜饮用含酒精的饮料；工业酒精中含有毒性的甲醇，决不能饮用。

## 乙醇的工业制法

我国劳动人民早在几千年前就掌握了发酵酿酒术，至今，发酵法仍是制备乙醇的重要方法。发酵法以富含淀粉的各种谷物和野生果实为原料，经下列过程成为发酵液：



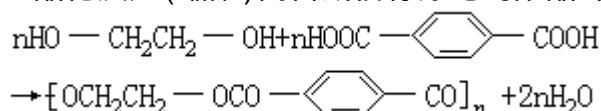
发酵液内含乙醇 10 ~ 15%，发酵液经蒸馏可得含 95.6% 的乙醇和 4.4% 水的恒沸液液，称为工业酒精。目前工业上大量生产的乙醇，是以石油裂解气中的乙烯为原料利用水化法制得的(催化剂为硫酸或磷酸)：



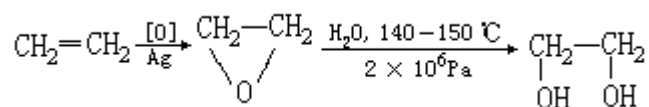
## 乙二醇

分子式  $C_2H_6O_2$  结构简式  $\begin{array}{c} CH_2-CH_2 \\ | \quad | \\ OH \quad OH \end{array}$ ，俗称甘醇。是无色粘稠有甜味的液体，熔点

$-11.5$ ，沸点  $198.0$ ，密度  $1.1088$  克/厘米<sup>3</sup>，能与水、乙醇混溶(不溶于乙醚)。60%乙二醇水溶液的凝固点是 $-49$ ，因此乙二醇可作内燃机抗冻剂。乙二醇具有一元醇的某些化学性质，如能生成醚、酯等物质。乙二醇可与对苯二甲酸发生酯化反应(缩聚)而合成俗称涤纶的聚酯纤维：



工业上以乙烯为原料，先氧化或环氧乙烷，然后水解即得乙二醇：



## 丙三醇

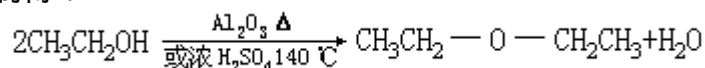
分子式  $C_3H_8O_3$ ，结构简式  $\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CH}_2 \\ | \quad | \quad | \\ \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}$  俗称甘油。是无色、粘稠、有甜

味的液体，熔点  $20^\circ\text{C}$ ，沸点  $290^\circ\text{C}$ （分解），密度  $1.2613 \text{ 克/厘米}^3$ ，有强烈的吸湿性，与水、酒精以任意比互溶，因此常用做化妆品、皮革、烟草、食品、纺织品的吸湿剂和滋润剂。它与硝酸酯化生成三硝酸甘油酯（又称硝酸甘油、硝化甘油）：它是一种烈性炸药的主要成分。硝化甘油有扩张冠状动脉的作用，用做心绞痛急救药。在自然界中，甘油以酯的形式存在，各种动植物油脂都是甘油的高级脂肪酸酯。水解油脂便可得到脂肪酸和甘油（参看油脂的性质）。



## 乙 醚

分子式  $C_4H_{10}O$ ，结构简式  $CH_3CH_2-O-CH_2CH_3$  是无色易挥发有特殊气味的液体，熔点  $-116.2$ ，沸点  $34.5$ ，密度  $0.7138$  克/厘米<sup>3</sup>。乙醚易燃，其蒸气与空气混合到一定比例时会发生爆炸，遇热金属也会着火，故贮存、使用时应避开火源，注意安全。乙醚微溶于水，能溶解多种有机物是良好的有机溶剂。纯净的乙醚在医疗上用做手术时的全身麻醉剂。工业上乙醚可由乙醇分子间脱水制得：



随着石油工业发展，乙醚亦可由石油化工产物乙烯制取，其方法是用硫酸吸收乙烯，形成硫酸乙酯，再水解得到乙醇和乙醚。通过改变温度和试剂浓度，可控制生成醇和醚的比例。苯酚的物理性质

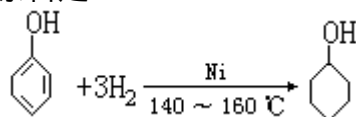
纯净苯酚为无色或白色晶体(常见的苯酚呈粉红色，是被空气氧化所致)，熔点  $43$ ，沸点  $181.75$ ，密度  $1.0576$  克/厘米<sup>3</sup>，室温时微溶于水， $70$  以上时，能与水以任意比互溶。苯酚易溶于乙醇、乙醚等有机溶剂。苯酚有毒，它的浓溶液对皮肤有强腐蚀性，沾到皮肤上应立即用酒精洗涤。

## 苯酚的化学性质

苯酚分子中含有羟基(-OH)，也可以发生O-H键断裂和C—O键断裂。但酚与醇结构不同，酚羟基与苯环直接相连，因此酚的O-H键容易断裂，而C—O键却很难断裂，此外由于酚羟基的影响，增大了苯环上邻、对位上氢的活性，容易被取代。(见下页表)

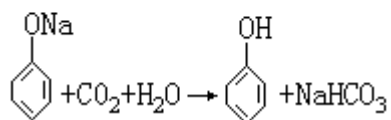
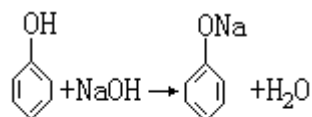
## 苯酚的用途

苯酚是一种重要的有机合成原料，可用来制取酚醛塑料(电木)、\*合成纤维(锦纶)、医药、染料、农药等。苯酚可凝固蛋白质，有杀菌效力，苯酚稀溶液是医药上最早使用的喷洒消毒剂，商品“来苏儿”(Lysol)消毒药水就是苯酚和甲苯酚的肥皂液，药皂中也掺入少量的苯酚。苯酚催化加氢即生成环己醇，是合成尼龙 66 的原料之一：

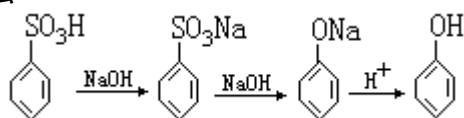


## 苯酚的工业制法

苯酚有四种工业制法。(1)苯酚和它的同系物存在于煤焦油中，可将煤焦油的中间馏分，经碱液提取，再经酸化制取苯酚，但此法产量有限。

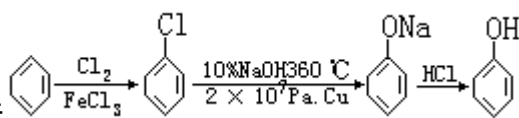


### (2) 苯磺酸碱熔法



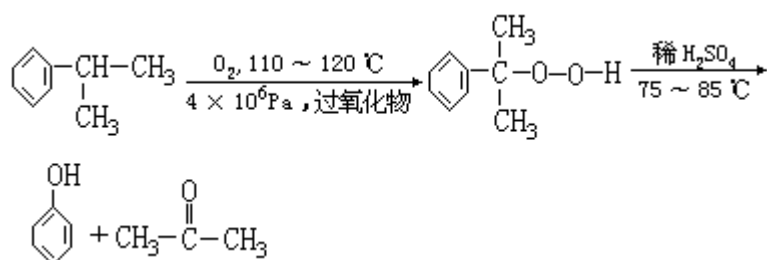
此法产率高，但操作工序繁多，消耗大量硫酸和烧碱，对设备腐蚀严重。

### (3) 氯苯水解法



解法

### (4) 异丙苯氧化水解法



此法每生产一吨苯酚可同时获得 0.6 吨丙酮。

## 乙醛的物理性质

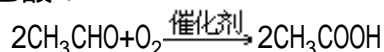
常温下为无色有刺激性气味的液体，密度比水小(0.7834 克/厘米<sup>3</sup>，18℃)熔点为-121.5℃，沸点为 20.8℃，易挥发。易溶于水、乙醇、乙醚和氯仿中。

## 乙醛的化学性质

主要是由官能团醛基( $\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}-\text{H}$ )决定的。在醛基中, C=O 双键可发生加成反应, 然而乙醛中的碳氧双键有极性:  $\overset{\delta+}{\text{C}}=\overset{\delta-}{\text{O}}$  在加成时, 带负电荷的试剂加到带部分正电荷的碳上, 带正电荷的试剂加到带部分负电荷的氧上; 乙醛分子中与羰基相连的氢和 碳上的氢都有一定活泼性, 可发生氧化还原反应及  $\alpha$ -氢的取代反应。

## 乙醛的用途

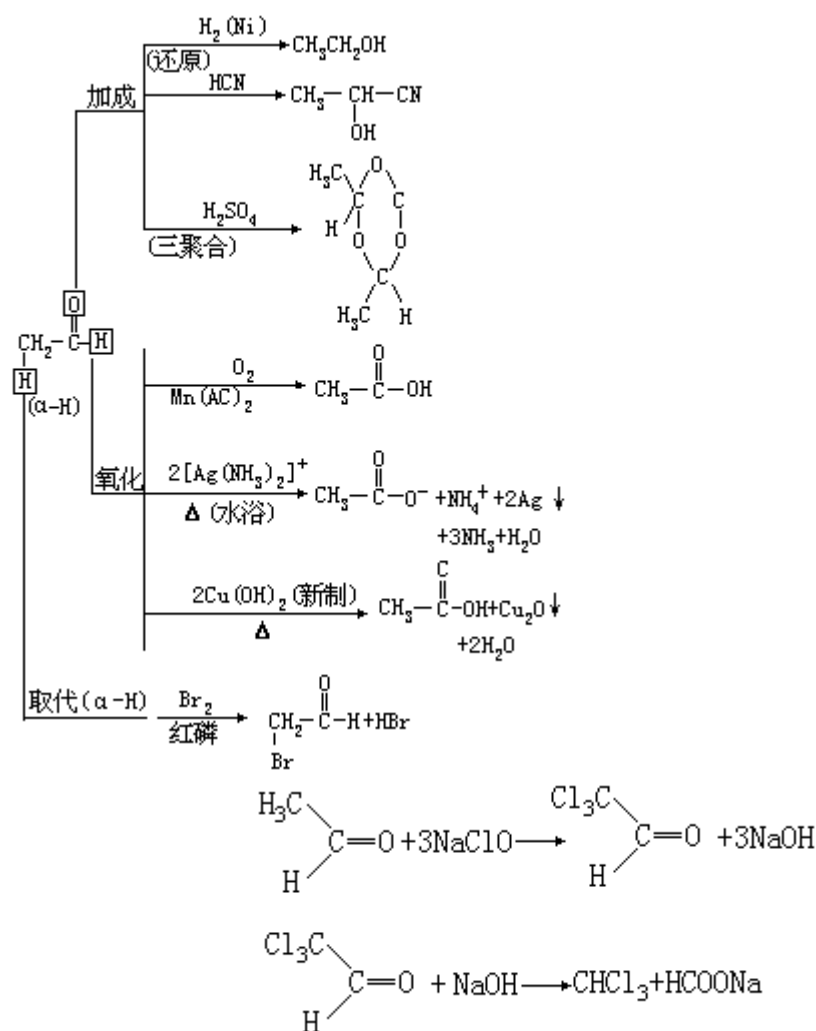
乙醛是有机合成工业中的重要原料，可用于合成乙酸、乙酐、乙醇、丁醇、三氯乙醛、氯仿等。例如，工业上，乙醛在一定温度和催化剂 $[Mn(Ac)_2]$ 条件下，被空气氧化成乙酸：



又如氯仿反应：

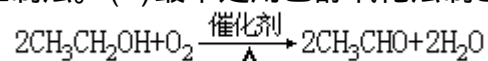
\* 乙醛分子中有  $C=O$  极性的影响，沸点比相应的乙烷( $C_2H_6$ )、甲醚( $CH_3-O-CH_3$ )高，但乙醛分子间不能形成氢键，其沸点比乙醇低。

有机物	乙烷	甲醚	乙醛	乙醇
沸点( )	-88.63	-23	20.8	78

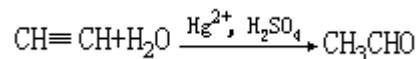


## 乙醛的工业制法

乙醛有三种工业制法。(1)最早是用乙醇氧化法制乙醛



此法要消耗大量粮食，已不再采用。(2)工艺比较成熟的是乙炔水化法，产率和产品纯度高。



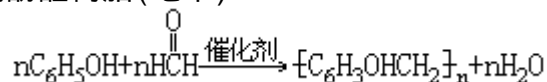
但汞盐毒性很大，严重污染环境。(3)乙烯直接氧化法，这是乙醛的最新制法。

$2\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{PdCl}_2 \sim \text{CuCl}_2} 2\text{CH}_3\text{CHO}$  该法产率高而无污染，是 1956 年原联邦德国的 Wacker 公司开发的，故又称瓦格(Wacker)法。

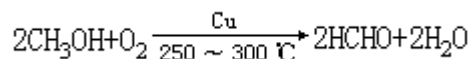
## 甲 醛

分子式  $\text{CH}_2\text{O}$ ，结构式  $\text{H}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H}$ ，俗称蚁醛。无色有强烈刺激性气味的气体，熔点  $-92$ ，沸点  $-21$ ，液态时的密度为  $0.815$  克/ $^3$ 厘米 ( $20$ )，易溶于水和乙醇， $35 \sim 40\%$  的甲醛水溶液叫做福尔马林。甲醛分子中有醛基

( $-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H}$ )，具有醛的通性，能发生加成、聚合和氧化反应。甲醛还可以与苯酚发生缩聚反应，得到酚醛树脂(电木)：



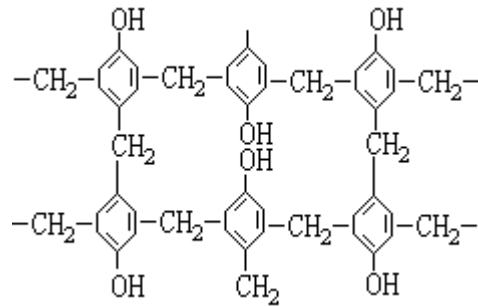
甲醛是一种重要的有机原料，主要用于塑料工业(如制酚醛树脂、脲醛塑料—电玉)、合成纤维(如合成维尼纶—聚乙烯醇缩甲醛)、皮革工业、医药、染料等。福尔马材具有杀菌和防腐能力，可浸制生物标本，其稀溶液( $0.1—0.5\%$ )农业上可用来浸种，给种子消毒。工业上常用催化氧化法由甲醇制取甲醛：





## 酚醛树脂

是酚与醛经缩聚反应而合成的树脂(塑料的统称,其中以苯酚和甲醛树脂为最重要。也是世界上最早由人工合成的,至今仍很重要的高分子材料。酚醛树脂为热固性树脂,与其它热固性树脂相比,其优点有:(1)固化时不需要加入催化剂、促进剂,只需加热、加压,调整酚与醛的摩尔比与介质 pH 值,就可得到具有不同性能的产物。(2)固化后密度小,机械强度、热强度高,变形倾向小,耐化学腐蚀及耐湿性高,是高绝缘材料。其缺点是脆性大,颜色深,加工成型压力高。它与其它配料制成的产品叫酚醛塑料,高绝缘,俗称电木,广泛应用于电气工业、化学工业,还可用做涂料、粘合剂、清漆。教材所列酚醛树脂缩合过程为线型酚醛树脂(参看苯酚的化学性质),体型酚醛

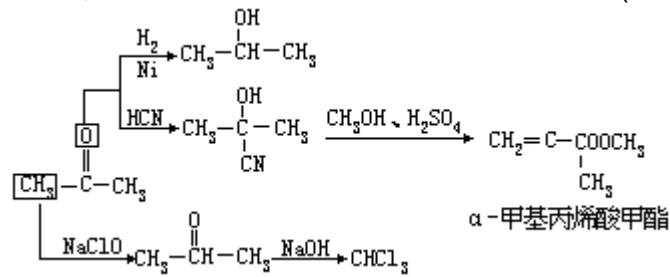


树脂结构示意图为：

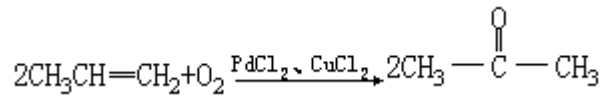
## 丙 酮

分子式  $C_3H_6O$ ，结构简式  $CH_3-\overset{O}{\parallel}{C}-CH_3$ ，无色、易挥发、有香味的液体，熔点  $-95.35$ ，沸点  $56.2$ ，密度  $0.7899$  克/厘米<sup>3</sup>，可与水、乙醇、乙醚等以任意比互溶，还能溶解脂肪、树脂和橡胶等多种有机物，是一种重要的有机溶剂。丙酮易燃，其蒸气与空气混合气的爆炸极限为  $2.55 \sim 12.80\%$ 。丙酮

分子中含有羰基( $-\overset{O}{\parallel}{C}-$ )极性双键，可发生加成、还原、 $\alpha$ -氢的取代反应，不易被氧化。丙酮是重要有机合成原料，可以制取醋酸酐、氯仿、碘仿、环氧树脂、有机玻璃( $\alpha$ -甲基丙烯酸甲酯是合成有机玻璃的单体)等。丙酮的用量大，制备方法也多，异丙苯氧化制苯酚的副产物就是丙酮(参看



苯酚的工业制法)，工业上的一种新方法是利用石油裂解气中的丙烯催化氧化，此法产率高、副反应少。

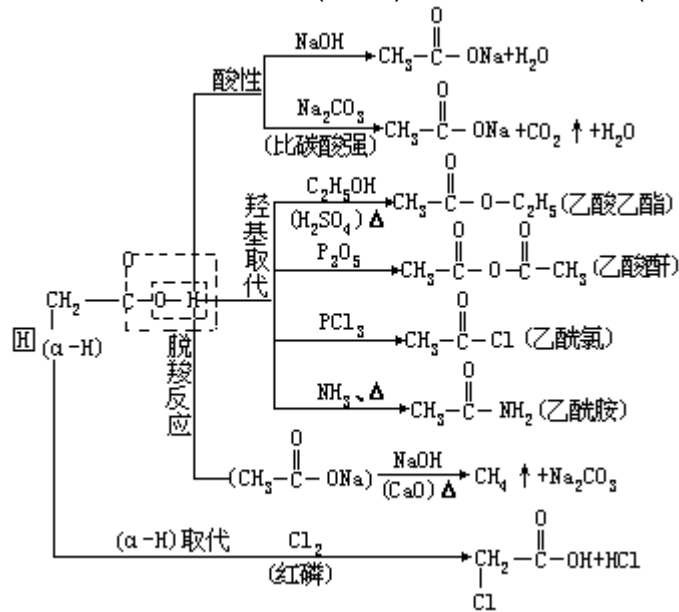


## 乙酸的物理性质

是一种无色有强烈刺激性气味的液体，熔点是  $16.6$  ，沸点是  $117.9$  ，密度  $1.0492$  克/厘米<sup>3</sup>，当室温低于  $16.6$  时，无水乙酸就凝结成冰一样的晶体，故通称冰醋酸。它是食醋的主要成分，普通食醋中含有  $3\sim 5\%$  乙酸，所以乙酸俗称醋酸。与水互溶并易溶于有机溶剂。

## 乙酸的化学性质

主要是由官能团羧基( $-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$ )决定,羧基由羰基( $-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-$ )和羟基( $-\text{OH}$ )结合而成,又彼此影响,因此表现酸性,还可以发生羟基取代生成羧酸衍生物及与羧基直接相连甲基上的氢原子( $-\text{H}$ )的取代反应等。(见表)



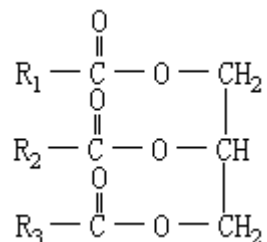
## 乙酸的用途

是人类使用最早的酸，在古代就用发酵法酿醋作食品调料。它是重要的有机化工原料，可以生产醋酸纤维(参看纤维素醋酸酯)、合成纤维(如维纶)、醋酸酐、醋酸酯(广泛用做溶剂)，也是染料、香料、医药、塑料、油漆工业不可缺少的原料。



## 油脂的成分

油脂是高级脂肪酸甘油酯的总称。常以下式表示：



结构式中的  $\text{R}_1$ 、 $\text{R}_2$ 、 $\text{R}_3$  绝大多数是含十个碳原子以上的单数碳原子的直链烃基，其中有饱和的，也有不饱和的(天然油脂中的脂肪酸多数为  $\text{C}_{12} \sim \text{C}_{18}$  的双数碳原子的直链脂肪酸)。如果  $\text{R}_1$ 、 $\text{R}_2$ 、 $\text{R}_3$  相同，称为单(纯)甘油酯；如果  $\text{R}_1$ 、 $\text{R}_2$ 、 $\text{R}_3$  不相同，称为混(合)甘油酯。天然油脂大都为混甘油酯。

## 高级脂肪酸

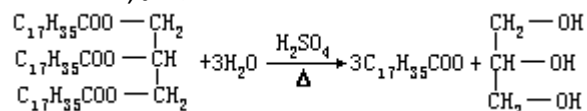
通常以酯的形式广泛存在于油脂和蜡中。天然来源的高级脂肪酸大多数是含双数碳原子的直链羧酸，其中有饱和的，也有不饱和的，其熔点通常是饱和高级脂肪酸高于同碳原子数的不饱和羧酸。下页表为几种重要的高级脂肪酸：

名称		系统名称	结构简式	熔点 ( )
饱和 脂肪 酸	月桂酸	十二酸	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	44
	肉豆蔻酸	十四酸	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	58
	软脂酸	十六酸	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	62.9
	硬脂酸	十八酸	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	69.9
不 饱 和 脂 肪 酸	油酸	9—十八 碳烯酸	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	13
	亚油酸	9,12—十八 碳二烯酸	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	-5
	桐油酸	9,11,13— 十八碳三烯酸	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3(\text{CH}=\text{CH})_3(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	49
	亚麻油酸	9,12,15— 十八碳三烯酸	$\text{CH}_3(\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH})_3(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	-11
	蓖麻油酸	12-羟基-9— 十八碳烯酸	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\overset{\text{OH}}{\text{C}}\text{HCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	50

## 油脂的性质

油脂比水轻，密度在 0.9~0.95 克/厘米<sup>3</sup>。不溶于水，易溶于汽油、乙醚、氯仿、丙酮、苯及热乙醇等有机溶剂中(工业上用有机溶剂提取植物种子中的油)。天然油脂都是混合物，所以没有恒定的熔点和沸点，构成油脂的脂肪酸的饱和程度，对油脂的熔沸点有一定影响。液态油比固态脂肪含有较多的不饱和脂肪酸甘油酯。油脂的化学性质与其结构有关，重要性质有水解、加成、氧化等。

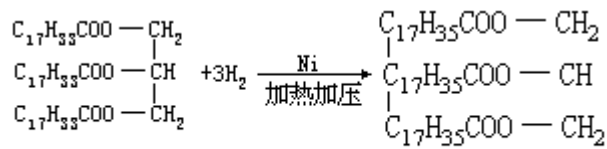
1. 水解油脂在酸(如  $\text{H}_2\text{SO}_4$ )存在条件下水解、生成高级脂肪酸和甘油(工业上制取它们的主要方法)。例：



油脂在碱(如  $\text{NaOH}$ )存在条件下水解，生成高级脂肪酸的钠盐和甘油，高级脂肪酸的钠盐就是肥皂。因此，油脂在碱性条件下的水解也叫“皂化”反应。

2. 加成(氢化)含不饱和脂肪酸的油脂催化加氢后可以转化为饱和程度高的固态、半固态的脂肪，此反应称为油脂的氢化或硬化。例：





油酸甘油酯 (油)

硬脂酸甘油酯 (脂肪)

工业上常用此反应将多种植物油(如棉籽油)转变为硬化油,硬化油性质稳定,不易变质、便于运输,可用做制肥皂、脂肪酸、甘油、人造奶油等的原料。

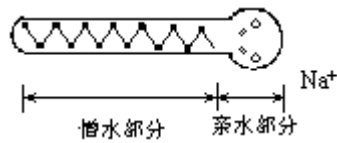
3. 氧化又称油脂的酸败。油脂贮存过久就会变质,颜色变深,产生一种特殊气味,俗称“哈喇”,化学上称为“油脂的酸败”。主要是空气中的氧及细菌的作用,使油脂氧化、分解生成有特殊气味的低级醛、酮、羧酸等。因此油脂要贮存在干燥避光的密闭容器中,并存放于阴凉处,贮存期也不宜过久。

## 油脂的用途

是人类的重要食物之一，也是重要的化工原料。用于制造肥皂、脂肪酸、甘油、油漆、油墨、乳化剂、润滑剂等，还用于医药、化妆品制造(参看油脂的性质)。

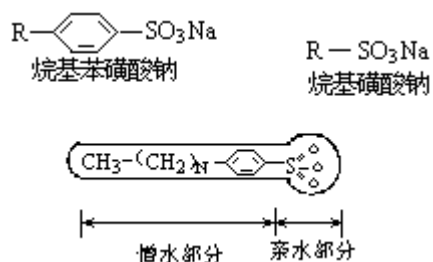
## 肥皂

是高级脂肪酸盐(钠盐、钾盐、铵盐)的总称。肥皂中除含高级脂肪酸盐外,还含有松香、水玻璃、香料、染料等填充剂。从结构上看,在高级脂肪酸钠的分子中含有非极性的憎水部分(烃基)和极性的亲水部分(羧基)。憎水基具有亲油的性能。在洗涤时,污垢中的油脂被搅动、分散成细小的油滴,与肥皂接触后,高级脂肪酸钠分子的憎水基(烃基)就插入油滴内,靠范德华力与油脂分子结合在一起。而易溶于水的亲水基(羧基)部分伸在油滴外面,插入水中。这样油滴就被肥皂分子包围起来,分散并悬浮于水中形成乳浊液,再经摩擦振动,就随水漂洗而去,这就是肥皂去污原理。但普通肥皂不宜在硬水或酸性水中使用。在硬水中因生成难溶于水的硬脂酸钙盐和镁盐,在酸性水中生成难溶于水的脂肪酸,大大降低其去污能力。

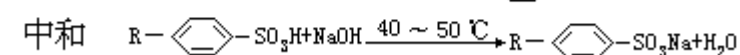
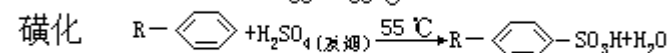
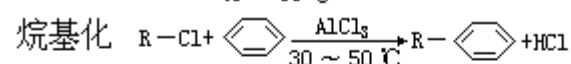
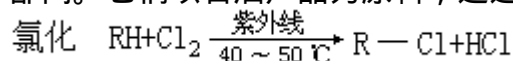


## 合成洗涤剂

又称合成表面活性剂，是根据肥皂的分子结构和去污原理，人工合成的一系列与肥皂分子相类似结构的化合物，它们的分子中同时含有亲水基团和憎水基团，能降低水的表面张力，是一种表面活性剂，根据不同的用途，可作洗涤剂、乳化剂、分散剂、润滑剂和起泡剂(十二烷基磺酸钠就是牙膏中的起泡剂)。我国目前大量生产的合成洗涤剂是烷基苯磺酸钠或烷基磺酸钠，它们的结构如下：



其中的亲水基团是强极性的磺酸基- $\text{SO}_3\text{Na}$ ，憎水基团是非极性的烃基，式中的R—一般是含十个碳以上的直链烷基。当R含碳原子太小时憎水亲油作用弱，去油污能力不强。当R含碳原子太多时，在水中的溶解度会下降。常用洗衣粉中的主要成分为十二烷基苯磺酸钠。合成洗涤剂比肥皂有更强的去污能力，而且浸润、乳化能力都很强，其钙盐、镁盐都可溶，不受硬水影响，在盐水和酸溶液中也不分解。因此，合成洗涤剂的生产发展迅速，除作家庭洗涤剂外，还广泛用于纺织、印染、制革、选矿、金属加工及化妆品等工业部门。它们以石油产品为原料，通过以下反应制备。



## 塑 料

是三大合成材料中品种最多、产量最大的一类合成高分子材料。塑料是具有可塑性的高聚物，在一定温度、压强下能形成规定形状，当降温解除压力后，仍能保持成型的形状。根据受热表现的特性，分为热塑性和热固性两大类。热塑性塑料受热时可软化变形，可以多次反复塑化成型，如聚乙烯、聚氯乙烯等。从结构上看它们都属于线型高分子化合物。热固性塑料成型后加热不软化，不能反复加工成型，其次品和废品不能回收利用，如酚醛树脂、环氧树脂等，它们都是体型高分子化合物(空间网状结构)。塑料制品具有质轻、绝缘、耐腐蚀、耐磨、易加工、美观等优点，是飞机、汽车、机械、化工、建筑、电器用品和日用品工业的重要原材料。塑料中的“四烯”(聚乙烯、聚氯乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯)用途非常广泛，称通用塑料。另一类是具有金属的刚性和韧性，能承受一定的外力作用，抗冲击强度高，有良好的机械性能的塑料，称工程塑料。如聚酰胺 1010，聚碳酸酯、聚甲醛、ABS 工程塑料等。合成纤维

是化学纤维的一种。以小分子的有机化合物为原料，经加聚反应或缩聚反应合成的线型有机高分子化合物，如聚丙烯腈、聚酯、聚酰胺等。从纤维的分类可以看出它属于化学纤维的一个类别。

纤维 { 天然纤维—棉花、麻、蚕丝、羊毛……  
化学纤维 { 人造纤维—铜氨纤维、粘胶纤维、醋酸纤维……  
合成纤维—腈纶、丙纶、维纶、锦纶……

合成纤维的主要品种如下：(1)按主链结构可分碳链合成纤维，如聚丙烯纤维(丙纶)、聚丙烯腈纤维(腈纶)、聚乙烯醇缩甲醛纤维(维尼纶)；杂链合成纤维，如聚酰胺纤维(锦纶)、聚对苯二甲酸乙二酯(涤纶)等。(2)按性能功用可分耐高温纤维，如聚苯咪唑纤维；耐高温腐蚀纤维，如聚四氟乙烯；高强度纤维，如聚对苯二甲酰对苯二胺；耐辐射纤维，如聚酰亚胺纤维；还有阻燃纤维、高分子光导纤维等。合成纤维的生产有三大工序：合成聚合物制备、纺丝成型、后处理。

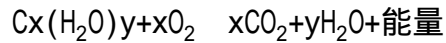
## 合成橡胶

是人工合成的高弹性聚合物，以煤、石油、天然气为原料，便宜易得，而且品种很多，并可按工业、公交运输的需要合成各种具有特殊性能(如耐热、耐寒、耐磨、耐油、耐腐蚀等)的橡胶，因此目前世界上合成橡胶的总产量已远远超过了天然橡胶。合成橡胶主要有顺丁橡胶、丁苯橡胶、氯丁橡胶、丁腈橡胶等。按橡胶制品形成过程可分热塑性橡胶和硫化型橡胶；按成品状态可分为液体橡胶、固体橡胶、粉末橡胶和胶乳。合成的生胶具有良好的弹性，但强度不够，必须经过加工才能使用，其加工过程包括塑炼、混炼、成型、硫化等步骤。我国的橡胶工业起步较晚，1949年全国耗胶量仅为13000吨，国内自产天然橡胶仅200吨。50年代初期开始研制合成橡胶，1958年首先在四川建成氯丁橡胶的工业生产装置，1959年在兰州建成万吨级丁苯橡胶装置，1960年后建成顺丁橡胶装置，1971年后先后在北京、上海等地建成大型、特种橡胶生产装置。1984年我国耗胶量已达610000吨，居世界第四位，其中34.4%为合成橡胶。

## 糖 类

是自然界广泛存在的一类有机化合物。从结构特点看，它们是多羟基醛、多羟基酮及其缩聚产物。多数糖类的分子组成符合通式  $C_m(H_2O)_n$ ，如葡萄糖 ( $C_6H_{12}O_6$ )、核糖 ( $C_5H_{10}O_5$ )、蔗糖 ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) 等，故最早称为碳水化合物。但也有例外，如鼠李糖 ( $C_6H_{12}O_5$ )，脱氧核糖 ( $C_5H_{10}O_4$ )。另有一些分子式符合  $C_m(H_2O)_n$  的有机物，如甲醛 ( $CH_2O$ )、乙酸 ( $C_2H_4O_2$ )、甲酸甲酯 ( $C_2H_4O_2$ ) 等并不属于糖类。糖类根据它能否水解和水解后生成的产物，可分三类：单糖、低聚糖、多糖(参看各相应条)。糖类是植物和某些微生物以二氧化碳和水为原料，在日光作用下经过一系列复杂过程合成的，可概括为：

$$xCO_2 + yH_2O \xrightarrow[\text{叶绿素}]{\text{阳光}} C_x(H_2O)_y + xO_2$$
它们在动植物内的代谢作用中氧化成二氧化碳和水，同时放出能量：



因此它们是生物体维持生命活动所需要的主要能源，也是机体中合成其它有机物的原料。

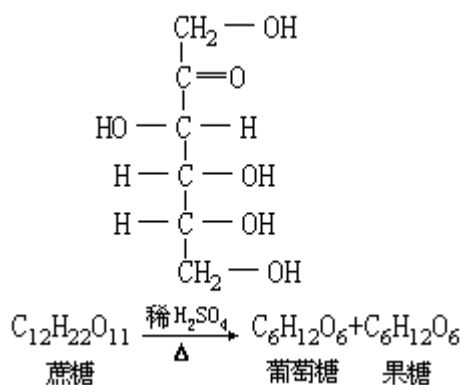
## 单糖和多糖

它们是糖类化合物的主要类别。(1)单糖——不能水解的最简单的糖，根据其分子中碳原子数为三、四、五、六……，分别叫丙、丁、戊、己糖，如葡萄糖、果糖( $C_6H_{12}O_6$ )为己糖，核糖( $C_5H_{10}O_5$ )为戊糖。其中按结构可分为醛糖(葡萄糖、核糖)和酮糖(果糖)。单糖具有醛或酮的通性，也具有醇的通性，单糖都具有还原性，均可发生银镜反应并与新制氢氧化铜悬浊液反应。单糖都是有甜味的无色晶体。(2)双糖——是由两分子单糖缩合而成的有机物，水解后生成两分子单糖，是最常见的低聚糖(又称二糖)。其中最重要的有蔗糖、麦芽糖( $C_{12}H_{22}O_{11}$ )，它们互为同分异构体。它们都是有甜味的无色晶体，其区别是麦芽糖有还原性而蔗糖没有。(3)多糖——由许多单糖缩聚而成的高聚物，水解后可以得到许多单糖。多糖的分子质量不固定，一种多糖的相对分子质量有一定范围。多糖是非晶体，不溶(纤维素)或只溶于热水(淀粉)，没有甜味，没有还原性。重要的多糖有淀粉和纤维素，它们的分子通式为( $C_6H_{10}O_5$ ) $_n$ 。



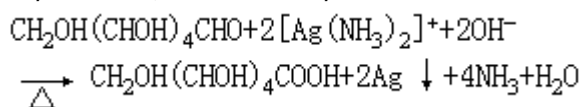
## 果 糖

是己酮糖，分子式  $C_6H_{12}O_6$ ，存在于水果和蜂蜜中，纯净果糖是白色晶体，易溶于水，是最甜的糖。结构式如下图。它和葡萄糖互为同分异构体。果糖分子中没有醛基，但酮羰基邻位有羟基存在，其水溶液也能发生银镜反应，也能被新制氢氧化铜氧化，生成氧化亚铜红色沉淀，具有还原性，反应结果分子中碳链断裂。果糖是一种重要的营养剂，还可作药用。蔗糖水解可得果糖和葡萄糖：

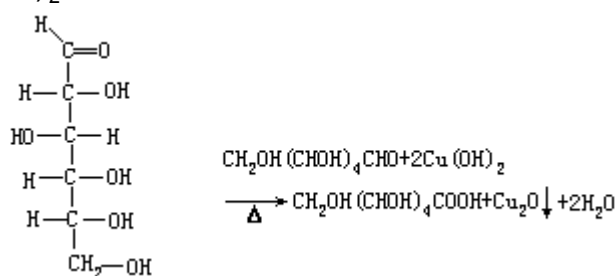


### 葡萄糖的性质

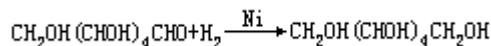
是己醛糖，分子式  $C_6H_{12}O_6$ ，白色晶体，易溶于水，熔点 146℃，它的结构式如下图：它是自然界分布最广泛的单糖。其主要化学性质是：(1)分子中有醛基，有还原性，能与银氨溶液反应，被氧化成葡萄糖酸：



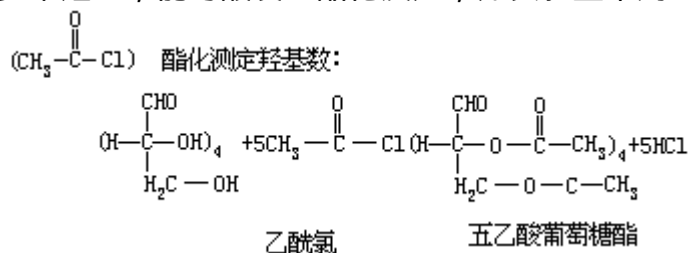
还能与新制  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  悬浊液反应：



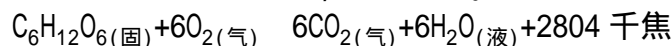
(2)醛基还能被还原为己六醇：



(3)分子中有多个羟基，能与酸发生酯化反应，如实验室常用乙酰氯

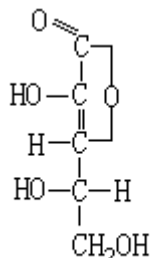


(4)葡萄糖在生物体内发生氧化反应，放出热量。

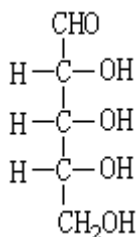


## 葡萄糖的用途

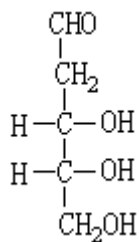
是生物体内新陈代谢不可缺少的营养物质。它的氧化反应放出的热量是人类生命活动所需能量的重要来源。在食品、医药工业上可直接使用，在印染制革工业中作还原剂，在制镜工业和热水瓶胆镀银工艺中常用葡萄糖作还原剂。工业上还大量用葡萄糖为原料合成维生素 C(抗坏血酸)。



一种戊醛糖，分子式  $C_5H_{10}O_5$ ，是在细胞中发现的，是细胞核的重要组成部分，是人类生命活动中不可缺少的物质。它具有醛糖的通性(参看葡萄糖的性质)、它是核糖核酸(RNA)的重要组成部分，其结构式为：

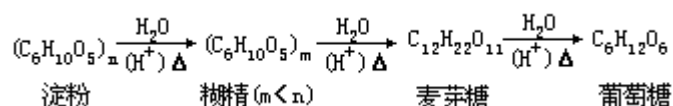


另一种重要的核糖是脱氧核糖，分子式  $C_5H_{10}O_4$ ，是分子中氢原子数和氧原子数不符合 2 : 1 的一种戊醛糖，它是脱氧核糖核酸(DNA)的重要组成部分，其结构式为：



## 淀粉的性质

淀粉是一种多糖，分子式为 $(C_6H_{10}O_5)_n$ ，是白色颗粒状的固体，其颗粒大小，形状及水溶性因其来源和结构不同而异。绿豆淀粉主要是分子量较小的直链淀粉，可溶于热水形成胶体，与碘作用形成深蓝色配合物；糯米淀粉主要是分子量较大的支链淀粉，不溶于热水，但在热水中溶胀而有粘性，与碘作用形成紫色的配合物；一般淀粉因两种结构兼而有之，故遇碘呈蓝紫色。淀粉没有还原性，不能被银氨溶液与新制氢氧化铜氧化，属于非还原性糖。淀粉在酸性溶液中加热可以水解，先水解为分子量较小的糊精，再水解成麦芽糖，最后水解为葡萄糖：



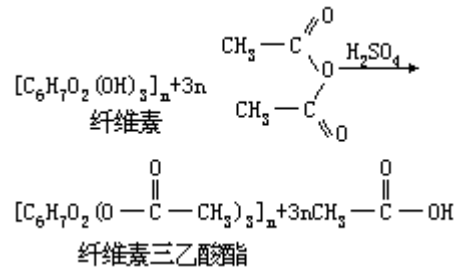
存在于动物肝脏和肌肉中的多糖，亦称肝糖，是动物淀粉，其结构与支链淀粉类似，但分支程度更高，是动物贮存营养物质的主要形式。

## 淀粉的用途

淀粉大量存在于植物的种子和块根、块茎中，是植物贮存营养物质的主要形式，也是动物体摄取的主要营养物质，因此淀粉可供食用以及食品工业的再加工。也用于制葡萄糖和酿酒(参看乙醇的工业制法)。纤维素是自然界最丰富的天然有机高分子化合物，也是由葡萄糖缩合而成的多糖，其平均分子量为  $2.5 \times 10^5 \sim 1 \times 10^6$ ，是构成植物细胞壁的基础物质。它是长链线型分子，分子间相互作用成束状有序排列，称为纤维状，不溶于水和有机溶剂，但能溶胀。纤维素比淀粉难以水解，在酸性溶液中，水解的最终产物是葡萄糖。纤维素分子中的葡萄糖单元是相互扭曲着的，这样使若干纤维素分子的长链扭曲在一起形成绳索状结构，这些绳索再排列起来形成肉眼能见到的纤维，因此具有一定强度和化学稳定性，可以进行纺织成型。纤维素的分子中，每一个葡萄糖单元有 3 个羟基，能显示醇的性质，可以和硝酸、醋酸等发生酯化，得到纤维素无机酸酯。因此纤维素的用途广泛，除供纺织，造纸外，并可制人造丝、人造棉、玻璃纸、无烟火药、火棉胶、赛璐珞制品及电影胶片等。

## 纤维素醋酸酯

俗称醋酸纤维，由纤维素在硫酸催化下与乙酸酐酯化生成：



实际上纤维素分子中的羟基不可能全部酯化，不同酯化程度的醋酸纤维有不同的性能和用途。酯化程度接近 100% 的，用于制电影胶片 and 绝缘材料；酯化程度达 80% 的，用于制人造丝和香烟的过滤嘴；酯化程度 70% 左右的，用于制造塑料和清漆。酯化程度大的在有机溶剂中溶解性小。醋酸纤维对光稳定，不燃烧，耐酸不耐碱。

## 蛋白质的组成

由 一氨基酸通过肽键结合而成的天然有机高分子化合物。分子量为  $6 \times 10^3 \sim 10^6$ ，其元素组成除含碳、氢、氧外，均含氮和少量硫。蛋白质的结构很复杂，多肽链内的多种 一氨基酸以一定顺序排列，肽链上不直接相连的氨基之间通过特殊的分子间力(氢键)结合、盘旋、叠合呈空间结构，因此蛋白质是以多种氨基酸为单体的高聚酰胺。蛋白质种类繁多，水解产物均是一氨基酸的称为单纯蛋白质。单纯蛋白质与非蛋白质的结合物叫结合蛋白，如脂蛋白、糖蛋白、血红蛋白等。单纯蛋白质又可分为不溶于水的纤维蛋白，如毛发、丝、爪甲等；可溶于水的球蛋白，如血清蛋白、酶等。研究蛋白质的组成、结构和合成，进一步探索生命现象，是科学研究的重要课题。1965年我国科学家在世界上第一次用人工方法合成了具有生命活力的蛋白质—结晶牛胰岛素。

## 蛋白质的性质

由于蛋白质分子大，溶于水的分散系有胶体特征，蛋白质颗粒带有电荷，使之相互排斥，其溶液比较稳定。若加入高浓度的氯化钠、硫酸钠、硫酸铵等盐类，可以中和蛋白质分子表面的电荷，使蛋白质沉淀，称为盐析。盐析作用一般是可逆的。沉淀时，蛋白质结构与生理活性不变，稀释后仍可溶解。

蛋白质分子受到某些物理因素(如加热、高压、超声波、紫外线、X射线等)和化学因素(如强酸、强碱、重金属盐、酒精等有机溶剂)的影响，其内部结构发生变化，从而失去生物活性，并发生物理、化学性质的变化，称为变性。如鸡蛋白溶液中加入硝酸铅、硫酸铜、硝酸汞等重金属盐，立即出现沉淀。高温、紫外线、酒精的消毒杀菌都是使蛋白质变性，这种变性是不可逆的，消除影响因素后，蛋白质的生理活性也不可恢复。

蛋白质分子中还有残留的、未形成肽键的氨基与羧基，因此也具有两性。有些蛋白质(分子中含苯环)和浓硝酸作用呈黄色，称颜色反应。

## 蛋白质的用途

“没有蛋白质就没有生命”，说明了生命现象与蛋白质的密切关系。它是人和动物不可缺少的营养物质。动物的毛和蚕丝的成分都是蛋白质，是重要的纺织原料。动物的皮经药剂鞣制后得到柔软坚韧的皮革。骨、皮等熬煮得到无色透明的动物胶，叫做白明胶，是制造照相感光片和感光纸的原料。牛奶中的蛋白质—酪素还能跟甲醛合成酪素塑料。

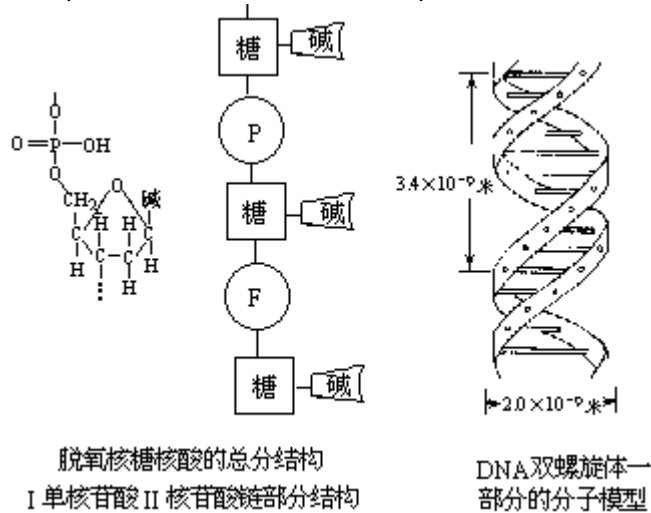


## 核 酸

一类生物高分子化合物，存在于一切生物体内，是组成细胞的重要成分。它以与蛋白质结合的形式——核蛋白存在于细胞中，是生命的基本物质之一，具有储存、复制生物体遗传信息的功能，也是蛋白质合成不可缺少的物质，因此它对于生物体的生长、遗传、变异等现象起着重要的决定作用。核酸分为两大类——核糖核酸(RNA)和脱氧核糖核酸(DNA)，它们的分子量、分别为  $10^4 \sim 10^6$  和  $10^6 \sim 10^{16}$ 。在核酸分子中，主链由核糖(或脱氧核糖)与磷酸通过磷酸二酯键连接，主链上连接不同的碱性基，这些碱基的排列顺序就是遗传密码。核酸分子具有复杂的高级结构。我国在人工合成具有生物活性的核糖核酸和测定核酸结构方面的研究，都居世界领先地位。以脱氧核糖酸为例，其结构示意图如下页图。

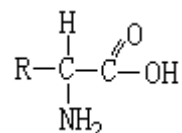
## 酶

是一种具有生物活性的蛋白质，有单纯酶和结合酶两种。单纯酶只含蛋白质，不含其它物质，其催化活性仅由蛋白质的结构决定。结合酶则由单纯蛋白质和辅基组成，辅基是结合酶催化活性中不可缺少的部分。根据催化反应的类型，可以把酶分成六大类：(1)氧化还原酶——如细胞色素氧化酶、乳酸脱氢酶、氨基酸氧化酶。(2)水解酶——如胃蛋白酶、淀粉酶、蔗糖酶、脂肪酶等。(3)转移酶——如转氨酶等。(4)裂解酶——如碳酸酐酶等。(5)异构酶——如磷酸葡萄糖异构酶等。(6)合成酶——如谷氨酰胺合成酶、谷胱甘肽合成酶等。酶是一种生物催化剂，它具有一般催化剂的共性，但是酶的催化能力和催化反应条件有其自身的特异性：(1)酶的催化效力远远超过化学催化剂(高  $10^8 \sim 10^9$  倍)。(2)酶催化剂具有高效化学选择性，能从混合物中选择特定异构体进行催化反应。(3)酶催化剂对反应条件要求苛刻，如 pH 值、温度都各有特定的界限，超出界限即可引起酶蛋白的变性与分解。对酶催化剂特异性的研究与突破，将使有机合成飞速发展，这正是有待于我们探索的。

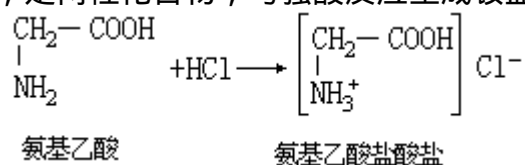


## 氨基酸

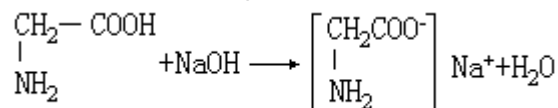
羧酸分子中烃基上的氢原子被氨基取代而成的有机化合物，即分子中含有氨基和羧基两种官能团。已知的氨基酸有数百种，但在生物体内，作为蛋白质合成原料的氨基酸主要有 20 种，它们均为  $\alpha$ -氨基酸(氨基连在与羧基直接相连的碳原子上)，通式为



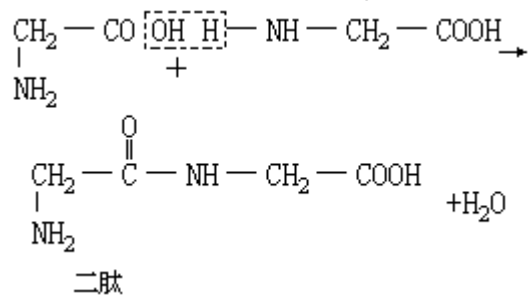
氨基酸分子中，同时含有碱性的氨基( $-\text{NH}_2$ )和酸性的羧基( $-\text{COOH}$ )，具有胺类与羧酸类的通性，是两性化合物，与强酸反应生成铵盐，



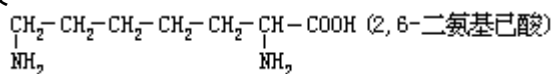
与氢氧化钠溶液反应生成羧酸钠盐，



一个氨基酸分子中的羧基和另一个氨基酸分子中的氨基之间，经缩合反应生成二肽，氨基酸是无色晶体，易溶于水，难溶于乙醚等非极性有机溶剂。氨基酸是构成蛋白质的基石，在人体蛋白质合成所需的 20 种氨基酸中，



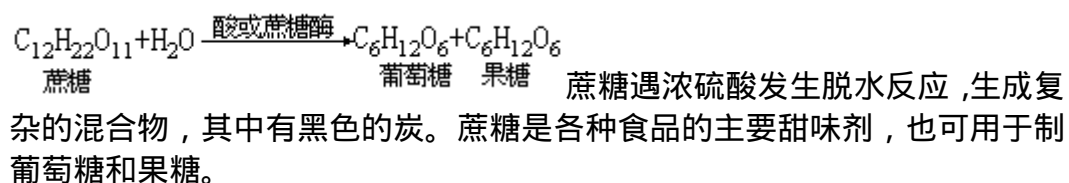
有 8 种人体不能制造，必须由食物中获得，例如赖氨酸



在植物性食物中含量较少，因此常添加赖氨酸制造强化食品以满足病人和儿童需要。 $\alpha$ -氨基酸除作为营养物质外，还是重要的化工原料。常用的调味品——味精就是谷氨酸钠盐。

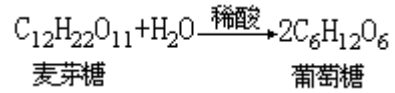
## 蔗 糖

自然界分布最广的非还原性二糖，分子式  $C_{12}H_{22}O_{11}$ ，存在于许多植物中，以甘蔗和甜菜中含量最高，因此得名。纯净的蔗糖是无色晶体易溶于水，比葡萄糖、麦芽糖甜，但不如果糖甜。蔗糖是由一分子葡萄糖和一分子果糖缩合失去一分子水而成，葡萄糖分子中的醛基和果糖分子中的酮基都被破坏，因此没有还原性，属非还原性二糖。蔗糖在酸或蔗糖酶的作用下，水解生成等量的葡萄糖和果糖。因此其水解产物有还原性。



## 麦芽糖

是一种还原性二糖，分子式  $C_{12}H_{22}O_{11}$ ，与蔗糖互为同分异构体，它由两个葡萄糖分子失去一分子水缩合而成，分子中保留一个醛基，因此具有还原性。麦芽糖在稀酸中水解得到两分子葡萄糖：



麦芽糖是淀粉的基本组成单位，可以说淀粉是麦芽糖的高聚物。用淀粉酶水解淀粉可以得到麦芽糖(参看淀粉的性质)。麦芽糖的甜度低于蔗糖，是饴糖的主要成分。

## 天然有机物

主要指油脂、糖类、蛋白质、天然橡胶这些自然界分布很广泛都是在生物体内合成的有机化合物，因此称为天然有机物。其中油脂、单糖、双糖、氨基酸等属于小分子的天然有机化合物。而多糖(淀粉、纤维素)、蛋白质则属于天然有机高分子化合物。油脂、糖类、蛋白质是人们食物中的三种重要成分，更是生物、生理与化学联系的重要纽带。它们在生物体内，由简单到复杂，再由复杂到简单(合成 分解 合成)的变化过程，下表所列为合成人体蛋白的 一氨基酸

分类	名称	结构简式	分子量
1. 脂肪族氨基酸 (1) 一氨基一羧基	甘氨酸	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{OH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$	75.1
	丙氨酸	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{C}-\text{OH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$	89.1
	丝氨酸	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{CH}_2-\text{C}-\text{C}-\text{OH} \\   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{NH}_2 \end{array}$	105.1
	半胱氨酸	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{CH}_2-\text{C}-\text{C}-\text{OH} \\   \quad   \\ \text{SH} \quad \text{NH}_2 \end{array}$	121.1
	蛋氨酸	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}-\text{C}-\text{OH} \\   \quad   \\ \text{SCH}_3 \quad \text{NH}_2 \end{array}$	149.2
	苏氨酸	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}-\text{C}-\text{OH} \\   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{NH}_2 \end{array}$	119.1

续表 1

分类	名称	结构简式	分子量
(2) 胺一氨基 二羧基及酰胺	缬氨酸	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}-\text{CH}-\text{C}-\text{OH} \\   \quad   \\ \text{CH}_3 \quad \text{NH}_2 \end{array}$	117.1
	亮氨酸	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{C}-\text{OH} \\   \quad   \\ \text{CH}_3 \quad \text{NH}_2 \end{array}$	131.1
	异亮氨酸	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}-\text{C}-\text{OH} \\   \quad   \\ \text{CH}_3 \quad \text{NH}_2 \end{array}$	131.1
	门冬氨酸	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{HO}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{C}-\text{OH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$	133.6
	谷氨酸	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{HO}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{C}-\text{OH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$	147.1
	门冬酰胺	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{C}-\text{OH} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$	132.1

续表 2

分 类	名 称	结 构 简 式	分 子 量
(3)二氨基 -羧基	谷氨酰胺	$\text{H}_2\text{N}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$	146.2
	赖氨酸	$\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}_2}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$	146.1
	精氨酸	$\text{H}_2\text{N}-\underset{\text{NH}}{\text{C}}-\text{NH}-(\text{CH}_2)_3-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$	174.1
2. 芳香族 氨基酸	苯丙氨酸	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$	165.1
	酪氨酸	$\text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$	181.1

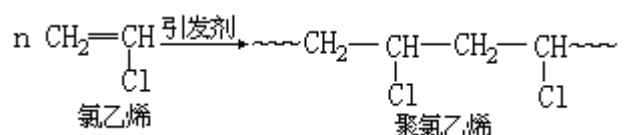
续表 3

分 类	名 称	结 构 简 式	分 子 量
3. 杂环氨基酸	色氨酸	$\text{C}_8\text{H}_7\text{N}-\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$	204.2
	组氨酸	$\text{C}_4\text{H}_7\text{N}-\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$	155.2
	脯氨酸	$\text{H}_2\text{C}-\underset{\text{CH}_2}{\overset{\text{H}}{\text{C}}}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$	115.1

正是生物体的生长、发育等生命现象中的化学过程。学习有关它们的基础知识，对于了解生命现象的本质、从事工农业生产和科学研究都是重要的。

## 高分子化合物

又称高聚物，是由几百~几千个原子、彼此以共价键连结起来的大分子化合物，具有较大的分子量( $5 \times 10^3 \sim 10^6$ )。此类化合物虽然分子量很大，但其化学组成、结构一般比较简单(蛋白质例外)，通常是以简单的结构单元为链节，通过共价键重复结合而成高聚物。如聚氯乙烯的形成与结构就是这样的。



此处氯乙烯这种能聚合成高分子化合物的小分子化合物称为单体，组成高分子链的重复结构单位，如 $-\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}-$ 称为链节，链节数目 $n$ 称为聚合度。对同

一种高聚物来说， $n$ 并不相同，所以高分子化合物的分子量是指平均分子量。

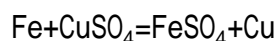
高分子化合物的分类众多，按其元素组成可分无机高分子化合物(如石棉、云母等)和有机高分子化合物(如橡胶、蛋白质)；按其来源可分天然高分子化合物(淀粉、天然橡胶、蛋白质、石棉、云母)和合成高分子化合物(合成塑料、橡胶、纤维)；合成高分子化合物又可按生成反应类型分加聚物(聚乙烯、聚氯乙烯.....)和缩聚物(聚酰胺、聚酯、酚醛树脂)；按链的结构可分线型高分子(合成纤维等)和体型高分子(酚醛树脂)等。高分子化合物分子中的各种官能团，都能正常发生反应，如羰基加成、脱碳，酯和酰胺水解等。由于分子量大，结构特殊，它们各自有其独特的物理性质。作为高分子材料，正是利用了这些性质(参看各具体条目)。四、化学计算

### 根据化学方程式的计算——差量法应用

在化学反应中，固体物质或溶液的质量(含气体物质的体积)，往往会发生变化，这种反应前后的变化差值，与该化学反应紧密联系，并与某些反应物或生成物的质量(含气体体积)成正比例关系。应用差量法解某些化学计算题，十分简便。

[例1] 在某硫酸铜溶液中，加入一个质量为1.12克的铁片，经过一段时间，铁片表面覆盖了一层红色的铜，取出洗净、烘干、称重，质量变为1.16克。试计算在这个化学反应中溶解了铁多少克？析出了铜多少克？

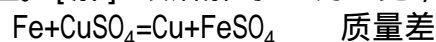
[分析] 把铁片放入硫酸铜溶液中，会发生置换反应，这个反应的化学方程式是：



从化学方程式可以看出，铁片质量的增加，与铁的溶解和铜的析出直接联系，每溶解56克铁，将析出64克的铜，会使铁片质量增加：

$$64 \text{ 克} - 56 \text{ 克} = 8 \text{ 克}$$

根据铁片增加的质量(1.16克-1.12克)，可算出溶解的Fe的质量和析出的Cu的质量。[解] 设溶解的Fe为 $x$ 克，析出的Cu为 $y$ 克





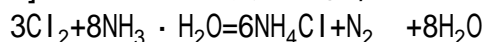
$$\frac{56\text{克}}{x} = \frac{64\text{克}}{y} = \frac{64\text{克} - 56\text{克}}{1.16\text{克} - 1.12\text{克}}$$

$$x=0.28\text{克}$$

$$y=0.32\text{克}$$

答：在这个化学反应中溶解了铁 0.28 克析出了铜 0.32 克。

[例 2] 把氯气通入浓氨水中，发生下列反应：



在标准状况下，把 1.12 升  $\text{Cl}_2$ 、 $\text{N}_2$  混合气(90% $\text{Cl}_2$ 和 10% $\text{N}_2$ )通过浓氨水，实验测得逸出气体( $\text{NH}_3$ 和  $\text{H}_2\text{O}$  都被吸收)，体积为 0.672 升(其中含 50% $\text{Cl}_2$ 和 50% $\text{N}_2$ )，有多少克氨被氧化？

[分析] 按常规解法，要计算出原混合气中  $\text{Cl}_2$  的体积：

$$1.12\text{升} \times 90\% = 1.008\text{升}$$

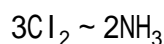
反应后混合气中  $\text{Cl}_2$  的体积：

$$0.672\text{升} \times 50\% = 0.336\text{升}$$

计算出反应中消耗的  $\text{Cl}_2$  的体积：

$$1.008\text{升} - 0.336\text{升} = 0.672\text{升}$$

再依据方程式找出关系式，计算出被氧化的  $\text{NH}_3$  的质量。设被氧化的  $\text{NH}_3$  为 x 克

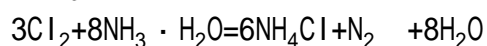


$$\frac{3 \times 224\text{升}}{0.672\text{升}} = \frac{2 \times 17\text{克}}{x}$$

$$x=0.34\text{克}$$

利用反应前后的气体体积差，建立解题关系，可使解题方法简化。

[解] 设被氧化的  $\text{NH}_3$  为 x 克



$$\frac{2 \times 17\text{克}}{x} = \frac{(3-1) \times 22.4\text{升}}{1.12\text{升} - 0.672\text{升}}$$

$$x=0.34\text{克}$$

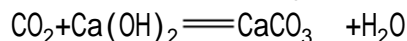
答：该反应中有 0.34 克氨被氧化

## 根据化学方程式的计算—反应物 中有一种过量的计算

当给出两种(或多种)反应物的质量,其中一种反应物的质量过量,计算生成物的质量时,一种反应物已经反应完毕,另一种过量的反应物尚有剩余,此时,应当选用不足量的反应物来计算生成物的质量。如果过量的反应物能与生成物继续发生化学反应,应当按照上述原则再行计算,才能得出生成物的质量。

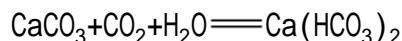
[例] 把 0.55 克二氧化碳通入含 0.74 克  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  的澄清石灰水中,充分反应后,能生成  $\text{CaCO}_3$  白色沉淀多少克?

[分析] 二氧化碳通入澄清的石灰水中,发生的化学反应是:



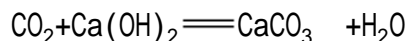
跟 0.74 克  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  反应生成  $\text{CaCO}_3$  沉淀,需耗用  $\text{CO}_2$  0.44 克,题目给出的 0.55 克  $\text{CO}_2$  是过量的,计算本反应生成  $\text{CaCO}_3$  沉淀的质量,应当以 0.74 克  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  为基准算出。

本反应生成的  $\text{CaCO}_3$  沉淀,又可以跟  $\text{CO}_2$  发生下述化学反应:



生成可溶于水的  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{CaCO}_3$  的质量的为 1 克,过量的  $\text{CO}_2$  为 0.11 克,这两种反应物发生上述反应时,  $\text{CaCO}_3$  是过量的,  $\text{CO}_2$  是不足量的,应当以  $\text{CO}_2$  的质量为基准,计算出能溶解  $\text{CaCO}_3$  的质量,再用  $\text{CaCO}_3$  的总质量减去过量  $\text{CO}_2$  溶解的  $\text{CaCO}_3$  质量,就是充分反应后生成  $\text{CaCO}_3$  白色沉淀的质量。

[解] 设跟 0.74 克  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  反应生成  $\text{CaCO}_3$  沉淀的  $\text{CO}_2$  为 x 克,生成  $\text{CaCO}_3$  沉淀为 y 克



$$\frac{44\text{克}}{x} = \frac{74\text{克}}{0.74\text{克}} = \frac{100\text{克}}{y}$$

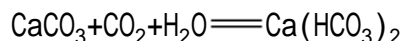
$$x = 0.44\text{克}$$

$$y = 1.00\text{克}$$

二氧化碳过量:

$$0.55\text{克} - 0.44\text{克} = 0.11\text{克}$$

过量的 0.11 克二氧化碳可以跟生成的  $\text{CaCO}_3$  发生化学反应,生成  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,使  $\text{CaCO}_3$  沉淀溶解,设被溶解的  $\text{CaCO}_3$  为 z 克



$$\frac{100\text{克}}{z} = \frac{44\text{克}}{0.11\text{克}}$$

$$z = 0.25\text{克}$$

生成  $\text{CaCO}_3$  沉淀的质量为:

$$1.00\text{克} - 0.25\text{克} = 0.75\text{克}$$

答: 0.55 克  $\text{CO}_2$  跟 0.74 克  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  充分反应生成  $\text{CaCO}_3$  沉淀 0.75 克

## 摩尔和微粒数的换算

摩尔是以原子、分子、离子、电子等微粒作为计量对象，以阿佛加德罗作为计数单位的“物质的量”这一物理量的单位，1摩尔任何物质都含有阿佛加德罗常数( $6.02 \times 10^{23}$ )个微粒。摩尔、微粒数，阿佛加德罗常数三者之间的关系如下：

$$\text{物质的量(摩)} = \frac{\text{物质含有的微粒数}}{\text{阿佛加德罗常数}}$$

运用这个关系式，就可以进行摩尔与微粒数的相互换算。

[例] 在0.5摩氧分子中含有多少个氧原子？

[分析] 本题给出了氧分子的物质的量是0.5摩，求问的是含有多少个氧原子，进行摩尔和微粒数的换算，必须注意微粒的名称。本题要依据摩尔、微粒数、阿佛加德罗常数间的关系式，先算出在0.5摩氧分子中含有的氧分子的个数，再依据每个氧分子里含有两个氧原子，算出在0.5摩氧分子中含有的氧原子的个数。

[解] 在0.5摩氧分子中含有的氧分子的个数是：

$$0.5 \times 6.02 \times 10^{23} = 3.01 \times 10^{23}$$

在0.5摩氧分子里含有的氧原子的个数是：

$$(3.01 \times 10^{23}) \times 2 = 6.02 \times 10^{23}$$

答：在0.5摩氧分子中含有  $6.02 \times 10^{23}$  个氧原子。

## 物质的量和物质质量的计算

物质的量(摩)与物质的质量(克)通过该物质的摩尔质量联系在一起,物质的量、物质质量和摩尔质量三者间的关系是:

$$\text{物质的量(摩)} = \frac{\text{物质的质量(克)}}{\text{摩尔质量(克/摩)}}$$

利用这个关系式,就可以进行物质的量与物质的质量的相互换算。物质的量和物质质量的计算,有以下三种基本类型:

从物质的量计算物质的质量[例] 物质的量为 2.5 摩的氢氧化钠,其质量是多少克?

[分析] 物质的量和物质质量的计算是全部摩尔计算的基础。已知物质的量计算物质的质量,可以通过下式求出:

$$\text{物质质量(克)} = \text{物质的量(摩)} \times \text{摩尔质量(克/摩)}$$

在一般条件下,摩尔质量是已知的,它可以通过原子量或式量计算出来。在本题中,氢氧化钠的式量是 40,氢氧化钠的摩尔质量是 40 克/摩,也就是说,1 摩氢氧化钠的质量是 40 克,那么,计算 2.5 摩氢氧化钠的质量,应该用 2.5 摩去乘以氢氧化钠的摩尔质量。

[解] NaOH 的摩尔质量为 40 克/摩,2.5 摩 NaOH 的质量是:

$$2.5 \text{ 摩} \times 40 \text{ 克/摩} = 100 \text{ 克}$$

答:物质的量为 2.5 摩的 NaOH 的质量是 100 克。

从物质的质量计算物质的量

[例] 在体积为 500 毫升、密度为 1.84 克/厘米<sup>3</sup>、质量百分浓度为 98% 的浓硫酸中,所含硫酸的物质的量是多少摩?

[分析] 解这种类型的题型,仍要抓住摩尔质量这个关键,用物质的质量去除以该物质的摩尔质量,就可以计算出该物质的物质的量。本题没有直接给出硫酸溶质的质量,需要根据浓硫酸的体积、密度和质量百分比浓度来计算出硫酸溶质的质量,然后,再用硫酸溶质的质量去除以硫酸的摩尔质量,就可以求出该浓硫酸中所含硫酸的物质的量。

[解] H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 的摩尔质量为 98 克/摩,在 500 毫升浓硫酸里所含 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 的质量是:

$$500 \times 1.84 \times 98\% = 901.6 \text{ (克)}$$

所含 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 的物质的量是:

$$901.6 \text{ 克} \div 98 \text{ 克/摩} = 9.2 \text{ 摩}$$

答:在 500 毫升、密度为 1.84 克/厘米<sup>3</sup>,浓度为 98% 的浓硫酸里含 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 9.2 摩。

从不同种物质的质量计算它们所含微粒的数量

[例] 现有 1 克氢气和 8 克氧气,试通过计算回答哪种气体含的分子个数多?

[分析] 不同种物质的质量的大小与它们所含分子数的多少没有直接联系,只有物质的量才与它们所含分子数的多少相联系。本题应根据给出的氢气和氧气的质量,分别算出它们各自的物质的量,再用物质的量乘以阿佛加德罗常数,算出两种气体所含的分子数,才能比较出哪种气体含有的分子个数多。

[解] 1克氢气的物质的量是：

$$\frac{1\text{克}}{2\text{克/摩}} = 0.5\text{摩}$$

所含的氢分子的个数是：

$$0.5\text{摩} \times 6.02 \times 10^{23}\text{个/摩} = 3.01 \times 10^{23}\text{个。}$$

8克氧气的物质的量是：

$$\frac{8\text{克}}{32\text{克/摩}} = 0.25\text{摩}$$

所含的氧分子的个数是：

$$0.25\text{摩} \times 6.02 \times 10^{23}\text{个/摩} = 1.505 \times 10^{23}\text{个}$$

答：1克  $\text{H}_2$  含有  $3.01 \times 10^{23}$  个氢分子，8克  $\text{O}_2$  含有  $1.505 \times 10^{23}$  个氧分子，1克  $\text{H}_2$  中所含的分子个数比8克  $\text{O}_2$  中所含的分子个数多。

## 物质的量和气体摩尔体积的计算

在标准状况下，1 摩任何气体所占的体积都约为 22.4 升，这个体积叫做气体摩尔体积。气体摩尔体积是物质的量(摩)与标准状况下气体占有的体积(升)间相互联系的桥梁。其相互间的关系是：

$$\text{物质的量(摩)} = \frac{\text{气体在标况下的体积(升)}}{\text{气体摩尔体积(22.4升/摩)}}$$

利用这个关系式，就可以进行物质的量与标况下气体体积的相互换算。物质的量与气体体积的计算有以下 2 种类型：

物质的量与气体体积相互换算[例] 质量是 13.2 克的二氧化碳，在标准状况下占有的体积是多少升？

[分析] 物质质量、物质的量与标况下气体体积的关系是：

$$\begin{aligned} \frac{\text{物质质量(克)}}{\text{摩尔质量}} &= \text{物质的量(摩)} \\ &\times 22.4 \text{升/摩} = \text{气体体积(标况)} \\ &\div 22.4 \text{升/摩} \end{aligned} \quad \text{(升)}$$

这是物质质量、物质的量、标况下气体的体积相互换算的基本方法。本题给出气体的质量，要求计算标况下气体的体积。解这种类型的题时，先用气体的质量除以摩尔质量，得到气体的物质的量，再用气体的物质的量乘以气体摩尔体积，就可计算出在标准状况下气体占有的体积。

[解] 13.2 克  $\text{CO}_2$  在标况下的体积为：

$$\frac{13.2 \text{克}}{44 \text{克/摩}} \times 22.4 \text{升/摩} = 6.72 \text{升}$$

答：13.2 克  $\text{CO}_2$  在标况下体积为 6.72 升。

运用气体摩尔体积计算气体的密度和气体的分子量

[例 1] 计算在标准状况下氧气、氮气的密度各是多少？

[分析] 气体密度是化学上常使用的概念，它是指在一定温度和压强下单位体积的气体含有气体的质量，以克/升表示。在标准状况下，1 摩尔任何气体的体积均约为 22.4 升，所以，用气体的摩尔质量除以气体摩尔体积，便可得出在标准状况下各种气体的密度

$$\text{气体密度} = \frac{\text{气体摩尔质量(克/摩)}}{22.4 \text{升/摩}}$$

[解] 氧气的摩尔质量是 32 克/摩，在标准状况下氧气的密度是：

$$\frac{32 \text{克}}{22.4 \text{升/摩}} = 1.429 \text{克/升}$$

氮气的摩尔质量是 28 克/摩，在标准状况下氮气的密度是：

$$\frac{28 \text{克/摩}}{22.4 \text{升/摩}} = 1.25 \text{克/升}$$

答：在标准状况下氧气的密度是 1.429 克/升，氮气的密度是 1.25 克/升。

[例 2] 已知质量是 0.393 克的二氧化碳在标准状况下的体积是 0.20 升，计算二氧化碳的分子量是多少？

[分析] 从标准状况下 0.20 升  $\text{CO}_2$  的质量是 0.393 克，可以算出 22.4 升  $\text{CO}_2$  的质量，也就是 1 摩  $\text{CO}_2$  的质量(摩尔质量)，去掉摩尔质量的单位、就是二氧化碳的分子量。

[解] 二氧化碳的摩尔质量是：
$$\frac{0.393\text{克}}{0.20\text{升}} \times 22.4\text{升 / 摩} = 44.0\text{克 / 摩}$$

二氧化碳的分子量是 44。

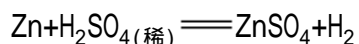
答：根据质量和体积计算出来的二氧化碳的分子量是 44。

## 运用气体摩尔体积进行化学方程式的计算

在化学反应中，反应物、生成物的物质的量之比，就是化学方程式中各物质的系数之比，等于各气体物质的体积之比。运用这样的方法计算气体的体积，可使计算过程简化。

[例 1] 使含铜 2.5% 的粗锌 5.0 克，跟足量的稀硫酸充分反应，在标准状况下生成氢气的体积是多少升？

[分析] 锌跟稀  $\text{H}_2\text{SO}_4$  发生的化学反应是：



从化学方程式可以看出，1 摩 Zn 跟足量稀  $\text{H}_2\text{SO}_4$  反应，生成 1 摩氢气，在标准状况下占有的体积是 22.4 升。本题给出的 5.0 克粗锌里含有 Zn 的质量是：

$$5.0 \text{ 克} \times (1 - 2.5\%) = 4.875 \text{ 克}$$

锌的物质的量是：

$$4.875 \text{ 克} \div 65 \text{ 克/摩} = 0.075 \text{ 摩}$$

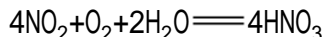
由此可知生成氢气也是 0.075 摩，运用气体摩尔体积，便可求出在标准状况下氢气的体积。[解] 设在标准状况下生成 x 升氢气

$$\begin{array}{r} \text{Zn} + \text{H}_2\text{SO}_{4(\text{稀})} = \text{ZnSO}_4 + \text{H}_2 \\ \frac{1 \text{ 摩}}{[5 \times (1 - 2.5\%) \div 65] \text{ 摩}} = \frac{22.4 \text{ 升}}{x} \\ x = 1.68 \text{ 升} \end{array}$$

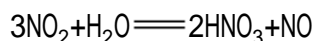
答：生成的  $\text{H}_2$  在标准状况下的体积是 1.68 升。

[例 2] 在常温常压下，12 毫升二氧化氮和氧气的混合气，跟水充分反应后，剩余尾气 2 毫升，计算原混合气里的二氧化氮和氧气各为多少毫升？

[分析] 二氧化氮与氧气组成的混合气，被水吸收后生成硝酸：



当氧气过量时，二氧化氮全部转化为硝酸，剩余的 2 毫升尾气是氧气；当二氧化氮过量时，氧气全部反应完毕，过量的二氧化氮跟水发生化学反应，生成硝酸和一氧化氮：



此时，剩余的 2 毫升尾气是一氧化氮。所以，在分析解答本题时，要全面思考上述两种情况，计算出混合气的两组可能组成。

[解] 当氧气过量时，剩余 2 毫升尾气是氧气。设混合气里氧气为  $x_1$  毫升，则二氧化氮体积为  $(12 - x_1)$ ，跟二氧化氮反应的氧气体积为  $(x_1 - 2)$  毫升

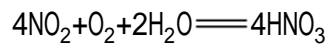
$$\begin{array}{r} 4\text{NO}_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{HNO}_3 \\ \frac{4}{12 - x_1} = \frac{1}{x_1 - 2} \end{array}$$

$$x_1 = 4 \text{ 毫升}$$

$$V_{\text{NO}_2} = 12 - x_1 = 8 \text{ 毫升}$$

当二氧化氮过量时，剩余 2 毫升尾气是一氧化氮，则生成 2 毫升一氧化氮的二氧化氮为 6 毫升，有  $(12 - 6)$  毫升的二氧化氮和氧气跟水反应生成硝酸。设混合气中氧气为  $x_2$  毫升





$$\frac{4}{6 - x_2} = \frac{1}{x_2}$$

$$x_2 = 1.2 \text{ 毫升}$$

$$V_{\text{NO}_2} = 12 - x_2 = 10.8 \text{ 毫升}$$

答：当氧气过量时，混合气里氧气为 4 毫升，二氧化氮为 8 毫升；当二氧化氮过量时，混合气里氧气为 1.2 毫升，二氧化氮为 10.8 毫升。

## 物质的量浓度和溶质质量、溶液体积的计算

物质的量浓度是以 1 升溶液里含有溶质的物质的量是多少摩来表示的溶液浓度。物质的量浓度的数学表达式是：

$$\text{物质的量浓度(摩/升)} = \frac{\text{溶质的物质的量(摩)}}{\text{溶液的体积(升)}}$$

正确理解物质的量浓度概念，便可进行溶质质量、溶液体积和溶液物质的量浓度的计算。物质的量浓度计算有 3 种基本类型：

从溶质的质量和溶液的体积计算溶液的物质的量浓度

[例 1] 把 14.3 克十水碳酸钠晶体溶于水配制成 500 毫升碳酸钠溶液，计算该碳酸钠溶液的物质的量浓度。

[分析] 在 1 摩  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  里含有 1 摩  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ，14.3 克  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  的物质的量是 0.05 摩，这就是碳酸钠溶液里  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  的物质的量，除以溶液的体积，就是碳酸钠溶液的物质的量浓度。

[解] 14.3 克  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  的物质的量是：

$$\frac{14.3\text{克}}{286\text{克/摩}} = 0.05\text{摩}$$

500 毫升溶液合 0.5 升溶液， $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液的物质的量浓度是：

$$\frac{0.05\text{摩}}{0.5\text{升}} = 0.1\text{摩/升}$$

答：该  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液的物质的量浓度是 0.1 摩/升。

[例 2] 用水吸收氯化氢可以得到盐酸，在 1 升水中溶解了 358.4 升(标准状况)氯化氢后，测得所得盐酸的密度为 1.19 克/厘米<sup>3</sup>，计算此盐酸的物质的量浓度是多少？

[分析] 这是一道气体溶质溶于一定体积水中，求所得溶液物质的量浓度的计算题。溶质的物质的量，可用在标准状况下气体的体积除以气体摩尔体积(22.4 升/摩)求出；溶液的体积，可用溶液的质量除以溶液的密度求出。再用溶质的物质的量(摩)除以溶液体积(升)，便可计算出溶液的物质的量浓度。

[解] 标准状况下 358.4 升 HCl 的物质的量是：

$$\frac{358.4\text{升}}{22.4\text{升/摩}} = 16.0\text{摩}$$

358.4 升 HCl(标准状况)溶于 1 升水中，所得盐酸溶液的体积是：

$$\frac{1000\text{毫升} \times 1\text{克/毫升} + 16.0\text{摩} \times 36.5\text{克/摩}}{1.19\text{克/毫升}} \\ = 1331\text{毫升} = 1.331\text{升}$$

该盐酸的物质的量浓度是：

$$\frac{16.0\text{摩}}{1.331\text{升}} = 12.0\text{摩/升}$$

答：该盐酸的物质的量浓度是 12.0 摩/升。

从溶液的物质的量浓度和溶液的体积，计算溶质的质量

[例] 配制 1 升 0.2 摩/升的  $\text{CuSO}_4$  溶液，需称取胆矾( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )多少

克？[分析] 从溶液的体积和溶液的物质的量浓度可以求出溶质的物质的量：

溶质的物质的量(摩)=溶液浓度(摩/升)×溶液体积(升)

本题  $\text{CuSO}_4$  溶液中的溶质是  $\text{CuSO}_4$ ，需称取的物质是胆矾( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )要计算胆矾的质量，需用  $\text{CuSO}_4$  的物质的量乘以胆矾( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )的摩尔质量(250克/摩)。

[解] 溶液中  $\text{CuSO}_4$  的物质的量是：

$$0.2 \text{ 摩/升} \times 1 \text{ 升} = 0.2 \text{ 摩}$$

胆矾( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )的质量是：

$$0.2 \text{ 摩} \times 250 \text{ 克/摩} = 50 \text{ 克}$$

答：应称取胆矾 50 克。

从溶液的物质的量浓度和溶质的物质的量。计算溶液的体积

[例] 配制 2 摩/升的硫酸溶液 500 毫升，需质量百分比浓度为 98%，密度是 1.84 克/厘米<sup>3</sup>的浓  $\text{H}_2\text{SO}_4$  多少毫升？

[分析] 这是已知稀溶液的物质的量浓度和体积，计算所需浓溶液的体积。稀溶液的物质的量浓度乘以稀溶液的体积，等于稀溶液里溶质的物质的量；浓溶液在加水稀释的过程中，溶质的物质的量保持不变。浓、稀溶液的物质的量浓度  $M$  与体积  $V$  存在下述关系：

$$M_{\text{浓}} \times V_{\text{浓}} = M_{\text{稀}} \times V_{\text{稀}}$$

根据上述关系式就可求出所需浓溶液的体积。

[解] 质量百分比浓度为 98%，密度为 1.84 克/厘米<sup>3</sup>的浓硫酸的物质的量浓度是：

$$\frac{1000 \text{ 厘米}^3 \times 1.84 \text{ 克/厘米}^3 \times 98\% \div 98 \text{ 克/摩}}{1 \text{ 升}}$$

$$= 18.4 \text{ 摩/升}$$

所需浓硫酸的体积是：

$$V_{\text{浓}} = \frac{M_{\text{稀}} \times V_{\text{稀}}}{M_{\text{浓}}} = \frac{2 \text{ 摩/升} \times 0.5 \text{ 升}}{18.4 \text{ 摩/升}}$$

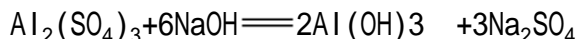
$$= 0.0543 \text{ 升} = 54.3 \text{ 毫升}$$

答：配 2 摩/升  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.5 升需浓  $\text{H}_2\text{SO}_4$  54.3 毫升。

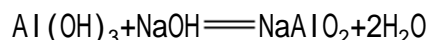
## 摩尔应用于化学方程式的计算

摩尔用于化学计算，其范围之广泛，方法之简便，是使用其它方法难以比拟的。摩尔用于化学计算的基本方法是：(1)把已知物的物理量单位变为摩尔；(2)根据化学方程式或关系式，把已知物的物质的量变为未知物的物质的量；(3)把未知物的物质的量变为未知物的未知求问。

[例 1] 取 50 毫升 0.10 摩/升的  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  溶液，跟 NaOH 溶液反应，当生成  $\text{Al}(\text{OH})_3$  沉淀 0.585 克时，该 NaOH 溶液中含 NaOH 可能是多少克？[分析]  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  溶液跟 NaOH 溶液的反应是：



当 NaOH 过量时， $\text{Al}(\text{OH})_3$  还可以跟 NaOH 反应，生成  $\text{NaAlO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$



$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  的物质的量是：

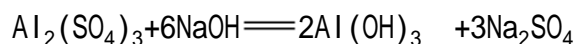
$$0.05 \text{ 升} \times 0.10 \text{ 摩/升} = 0.005 \text{ 摩}$$

跟 NaOH 反应可生成 0.01 摩  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ，其质量为：

$$0.01 \text{ 摩} \times 78 \text{ 克/摩} = 0.78 \text{ 克}$$

从题目给出  $\text{Al}(\text{OH})_3$  沉淀是 0.585 克，应该设想存在两种情况：NaOH 量不足；NaOH 过量。从而得出 NaOH 溶液里含有 NaOH 质量的两组解。

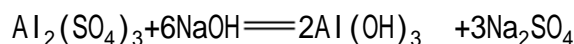
[解] (1) 当 NaOH 量不足时，从  $\text{Al}(\text{OH})_3$  质量直接算出 NaOH 的质量，设为 x 克



$$\frac{6 \times 40 \text{ 克}}{x} = \frac{2 \times 78 \text{ 克}}{0.585}$$

$$x = 0.90 \text{ 克}$$

(2) 当 NaOH 过量时， $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  全部反应生成  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ，设生成  $\text{Al}(\text{OH})_3$  y 克，耗用 NaOH  $z_1$  克

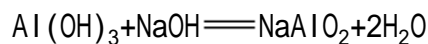


$$\frac{1 \text{ 摩}}{(0.1 \times 0.05) \text{ 摩}} = \frac{6 \times 40 \text{ 克}}{z_1} = \frac{2 \times 78 \text{ 克}}{y}$$

$$y = 0.78 \text{ 克}$$

$$z_1 = 1.20 \text{ 克}$$

溶解 (0.78 克 - 0.585 克)  $\text{Al}(\text{OH})_3$  沉淀，消耗 NaOH  $z_2$  克



$$\frac{78 \text{ 克}}{(0.78 - 0.585) \text{ 克}} = \frac{40 \text{ 克}}{z_2}$$

$$z_2 = 0.10 \text{ 克}$$

共耗用 NaOH 的质量为。

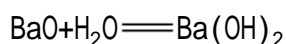
$$z_1 + z_2 = 1.20 \text{ 克} + 0.10 \text{ 克} = 1.30 \text{ 克}$$

答：溶液中含 NaOH 可能是 0.90 克，也可能是 1.30 克。

[例 2] 把 3.06 克 BaO 溶于 50 毫升水中，加入 50 毫升 0.2 摩/升的  $\text{H}_2\text{SO}_4$

充分反应后,过滤,将滤液在室温和减压下,用  $N_2$  吹干,共析出含水晶体 3.15 克,计算此含水晶体的化学式。

[分析]  $BaO$  溶于水时,跟水发生化学反应,生成  $Ba(OH)_2$  :



$BaO$  与  $Ba(OH)_2$  的物质的量相等,同为:

$$\frac{3.06 \text{克}}{153 \text{克/摩}} = 0.02 \text{摩}$$

50 毫升 0.2 摩/升的  $H_2SO_4$  的物质的量是:

$$0.050 \text{升} \times 0.2 \text{摩/升} = 0.01 \text{摩}$$

$H_2SO_4$  跟  $Ba(OH)_2$  反应, $Ba(OH)_2$  过量, $H_2SO_4$  全部反应完毕,滤去  $BaSO_4$  沉淀后所得滤液为  $Ba(OH)_2$  溶液,析出的晶体是  $Ba(OH)_2 \cdot xH_2O$ ,根据给出的数据,便可算出含水晶体的化学式。

[解] 3.06 克  $BaO$  跟水反应生成  $Ba(OH)_2$  的物质的量是:

$$\frac{3.06 \text{克}}{153 \text{克/摩}} = 0.02 \text{摩}$$

50 毫升 0.2 摩/升  $H_2SO_4$  的物质的量是:

$$0.05 \text{升} \times 0.2 \text{摩/升} = 0.01 \text{摩}$$

$Ba(OH)_2$  与  $H_2SO_4$  反应时,以等摩尔进行, $Ba(OH)_2$  过量:

$$0.02 \text{摩} - 0.01 \text{摩} = 0.01 \text{摩}$$

析出  $Ba(OH)_2 \cdot xH_2O$  的物质的量也是 0.01 摩,即

$$0.01(171 + 18x) = 3.15$$

$$x = 8$$

答:析出含水晶体的化学式是  $Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$ 。

[例 3] 1.28 克铜跟硝酸充分反应,生成 0.672 升(标准状况)气体,计算跟 1.28 克铜反应的硝酸的质量是多少克? [分析] 铜跟浓  $HNO_3$  反应生成  $Cu(NO_3)_2$ 、 $NO_2$  和水。1 摩  $Cu$  生成 2 摩  $NO_2$ ; 铜跟稀  $HNO_3$  反应生成  $Cu(NO_3)_2$ 、 $NO$ 、 $H_2O$ , 1 摩  $Cu$  生成  $\frac{2}{3}$  摩  $NO$ 。现有  $Cu$  1.28 克,其物质的量为 0.02 摩,当与浓  $HNO_3$  反应时,在标准状况下生成 0.896 升  $NO_2$ ; 当与稀  $HNO_3$  反应时,在标准状况下生成 0.299 升  $NO$ 。从生成气体体积是 0.672 升(标准状况),可知该气体是  $NO$ 、 $NO_2$  的混合物。按一般解法过于繁琐,若用物质的量进行计算,十分简便。根据硝酸的物质的量、气体物质的量、硝酸铜的物质的量存在下述关系:

$$n_{HNO_3} = n + 2n_{Cu(NO_3)_2}$$

可以求出硝酸的物质的量,进而求出硝酸的质量。

[解] 铜的物质的量是:

$$\frac{1.28 \text{克}}{64 \text{克/摩}} = 0.02 \text{摩}$$

生成  $Cu(NO_3)_2$  耗用  $HNO_3$  的物质的量是:

$$0.02 \text{摩} \times 2 = 0.04 \text{摩}$$

铜跟  $HNO_3$  反应生成气体的物质的量是:

$$\frac{0.672\text{升}}{22.4\text{升/摩}} = 0.03\text{摩}$$

与 1.28 克 Cu 反应耗用  $\text{HNO}_3$  的物质的量是：

$$0.04\text{摩} + 0.03\text{摩} = 0.07\text{摩}$$

耗用  $\text{HNO}_3$  的质量是：

$$0.07\text{摩} \times 63\text{克/摩} = 4.41\text{克}$$

答：跟 1.28 克 Cu 反应生成 0.03 摩气体耗用  $\text{HNO}_3$  的质量是 4.41 克。

## 利用热化学方程式的计算

化学反应都伴随着热效应，表明在化学反应中放出或吸收热量的方程式叫热化学方程式。热化学计算主要有两种基本类型：

从化学反应的热效应计算燃烧热[例]在标准状况下，1米<sup>3</sup>的甲烷完全燃烧，生成二氧化碳和水，放出 $3.97 \times 10^4$ 千焦热量，计算甲烷的燃烧热，并写出热化学方程式。

[分析] 燃烧热是指1摩物质完全燃烧时放出的热量。解答本题的关键是运用气体摩尔体积，求出标准状况下1米<sup>3</sup>的甲烷的物质的量。再用该反应的热效应除以甲烷的物质的量，求出甲烷的燃烧热，按照热化学方程式的书写规范，写出甲烷完全燃烧的热化学方程式。

[解] 在标准状况下1米<sup>3</sup>甲烷的物质的量是：

$$\frac{1\text{米}^3 \times 1000\text{升} / \text{米}^3}{22.4\text{升} / \text{摩}} = 44.64\text{摩}$$

1摩甲烷完全燃烧放出的热量是：

$$3.97 \times 10^4 \text{千焦} \div 44.64 = 890 \text{千焦}$$

甲烷燃烧的热化学方程式是： $\text{CH}_4(\text{气}) + 2\text{O}_2(\text{气}) = \text{CO}_2(\text{气}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{液}) + 890 \text{千焦}$

从燃烧热计算化学反应的热效应[例]已知酒精完全燃烧的热化学方程式是： $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{液}) + 3\text{O}_2(\text{气}) = 2\text{CO}_2(\text{气}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{液}) + 1370 \text{千焦}$ ，用酒精灯加热500毫升水，使水温从20 上升到80 ，需耗用酒精多少毫升？(已知热量损失20%，酒精密度0.79克/厘米<sup>3</sup>)

[分析] 解答本题先要运用物理学公式： $Q = C \cdot m \cdot (t_2 - t_1)$ ，计算出500克水从20 上升至80 理论上需要的热量；然后，根据热量利用率(1-20%)，计算出实际所需热量；再根据酒精的燃烧热，算出所需酒精的质量，通过酒精密度算出所需酒精的体积。

[解] 酒精的摩尔质量是46克/摩，设实际需要热量为Q，所需酒精质量为x克，体积为y毫升。实际所需热量是：

$$Q = \frac{1\text{卡} / \text{克} \cdot 500\text{克} \times (80 - 20)}{1 - 20\%} \\ = 37500 \text{卡} = 37.5 \text{千卡} = 156.86 \text{千焦}$$

所需酒精的质量是：

$$\frac{46\text{克}}{x} = \frac{1370\text{千焦}}{156.86\text{千焦}} \\ x = 5.27 \text{克}$$

所需酒精的体积是：

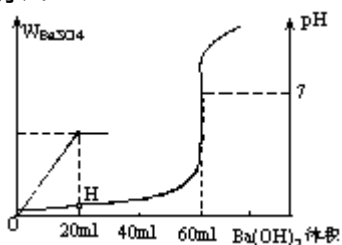
$$y = \frac{5.27\text{克}}{0.79\text{克} / \text{毫升}} = 6.67 \text{毫升}$$

答：需耗用酒精6.67毫升。

## 酸碱中和的计算

酸碱中和的计算属于化学方程式的计算。

[例 1] 现有硫酸、盐酸的混合溶液 20 毫升，加入 0.05 摩/升  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  溶液时，生成的  $\text{BaSO}_4$  沉淀的质量以及溶液的 pH 值变化，与加入  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  溶液的体积关系，如下图所示：

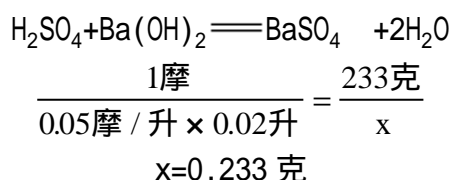


试通过计算回答下列各问：

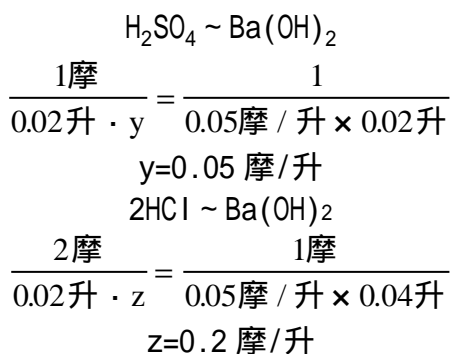
- (1) A 点所表示的  $\text{BaSO}_4$  的质量是多少克？
- (2) 原混合溶液的  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{HCl}$  的物质的量浓度各为多少？
- (3) B 点时溶液的 pH 值是多少？

[分析] 从图象分析得知，耗用 0.05 摩/升  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  溶液 20 毫升时， $\text{BaSO}_4$  沉淀完全，根据  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  的物质的量，可以算出 A 点所表示的  $\text{BaSO}_4$  的质量；根据  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  与  $\text{H}_2\text{SO}_4$  以相同的物质的量进行反应，可以算出原混合溶液中  $\text{H}_2\text{SO}_4$  的物质的量浓度。从图象看出，耗用 0.05 摩/升  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  溶液 (60—20) 毫升时，20 毫升混合溶液中的  $\text{HCl}$  恰好被中和，由此可以算出盐酸的物质的量浓度。B 点时溶液的 pH 值，是指原 20 毫升混合溶液加入 20 毫升  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  溶液时，溶液中氢离子浓度的负对数，B 点时溶液的氢离子浓度，可用盐酸的物质的量除以溶液的体积 (40 毫升) 求出。

[解] (1) 设 A 点时所表示的  $\text{BaSO}_4$  的质量是 x 克



(2) 设原混合溶液中  $\text{H}_2\text{SO}_4$  的物质的量浓度为 y 摩/升， $\text{HCl}$  的物质的量浓度为 z 摩/升



(3) B 点时溶液的氢离子浓度是：

$$[\text{H}^+] = \frac{0.20 \text{摩/升} \times 0.20 \text{升}}{0.20 \text{升} + 0.20 \text{升}} = 0.10 \text{摩/升}$$



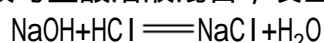
B 点时溶液的 pH 值是：

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = -\lg 0.10 = 1$$

答：A 点表示的  $\text{BaSO}_4$  质量是 0.233 克，原混合溶液中  $\text{H}_2\text{SO}_4$  的物质的量浓度是 0.05 摩/升，HCl 的物质的量浓度是 0.20 摩/升。

[例 2] 把 80 毫升氢氧化钠溶液加入到体积为 120 毫升、物质的量浓度与氢氧化钠溶液相同的盐酸中，所得溶液的 pH 值为 2，计算盐酸和氢氧化钠溶液的物质的量浓度。

[分析] 氢氧化钠溶液与盐酸溶液混合，发生中和反应



混合后溶液的 pH 值等于 2，氢离子浓度为 0.01 摩/升，说明盐酸过量，用过量的盐酸的物质的量，除以混合溶液的体积，等于混合溶液的氢离子浓度。依据这一关系就可求出盐酸和氢氧化钠溶液的物质的量浓度。

[解] 设盐酸和氢氧化钠溶液的物质的量浓度为 x 摩/升

当 pH=2 时， $[\text{H}^+] = 1 \times 10^{-2}$  摩/升。80 毫升 NaOH 溶液跟 120 毫升相同物质的量浓度的盐酸混合，溶液的 pH 值等于 2，则有

$$\frac{120x - 80x}{120 + 80} = 0.01$$

$$x = 0.05 \text{ 摩/升}$$

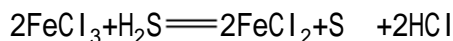
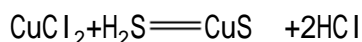
答：该盐酸和氢氧化钠溶液的物质的量浓度均为 0.05 摩/升。

## 两组分混合物中两种物质的量、 质量和百分比的计算

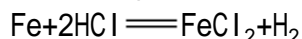
混合物的计算属于化学方程式中较高层次的计算。在混合物中包括两种或多种物质，当加入一种试剂后，涉及的化学反应比较多，而且这些化学反应往往相互联系，产物中又互相交叉，计算比较复杂。对于混合物的计算，要充分运用物质的量概念，找出多个化学反应间的联系，使计算过程简化。

[例 1] 在体积为 100 毫升氯化铜、氯化铁的混合溶液中，通入过量  $H_2S$ ，生成 1.28 克沉淀；把沉淀滤出后，在滤液里加入过量铁粉，充分反应后，滤出过量铁粉，细心蒸发滤液，可得 7.96 克含有 4 个结晶水的天蓝色晶体。根据上述实验数据，计算原混合溶液中氯化铜，氯化铁的物质的量浓度各为多少？

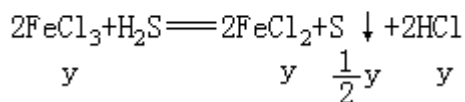
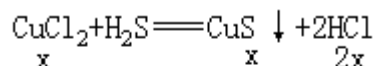
[分析] 在  $CuCl_2$ 、 $FeCl_3$  的混合溶液里，通入  $H_2S$  时， $CuCl_2$  与  $H_2S$  发生复分解反应， $FeCl_3$  与  $H_2S$  发生氧化还原反应：



通入的  $H_2S$  过量， $CuCl_2$ 、 $FeCl_3$  反应完全，上述两个反应生成的硫化铜与硫磺两种沉淀的质量之和是 1.28 克。滤出沉淀后所得滤液是  $FeCl_2$  和  $HCl$  的混合溶液，在滤液中加入过量铁粉时， $HCl$  跟  $Fe$  发生置换反应：



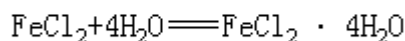
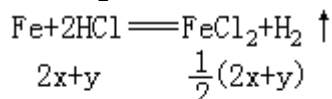
滤去过量的铁粉，得到  $FeCl_2$  溶液，蒸发该溶液析出的含 4 个结晶水的天蓝色晶体是  $FeCl_2 \cdot 4H_2O$ 。应当指出，跟  $Fe$  反应的盐酸是由  $CuCl_2$ 、 $FeCl_3$  分别与  $H_2S$  反应时生成的，溶液中的  $FeCl_2$  包括由  $FeCl_3$  跟  $H_2S$  反应的还原产物与  $Fe$  跟  $HCl$  反应的置换产物，溶液中  $FeCl_2$  的物质的量与  $FeCl_2 \cdot 4H_2O$  的物质的量相等。在本题中，运用物质的量概念，把 1.28 克沉淀、7.96 克天蓝色晶体与混合溶液里含有的  $CuCl_2$ 、 $FeCl_3$  的物质的量联系起来，问题便可迎刃而解。[解] 设混合溶液里含有  $CuCl_2$   $x$  摩，含有  $FeCl_3$   $y$  摩



根据所得  $CuS$  与  $S$  沉淀的质量之和是 1.28 克，可以列出如下方程：

$$96x + 32 \times \frac{1}{2}y = 1.28$$

$Fe$  跟  $HCl$  的置换反应，以及  $FeCl_2$  溶液蒸发析晶的反应及其相互关系是：



根据所得  $FeCl_2 \cdot 4H_2O$  的质量是 7.96 克，可以列出如下方程：

$$y + \frac{1}{2}(2x + y) = \frac{7.96}{199}$$

解上述 方程组得：

$$x = 0.01 \text{ 摩}$$

$$y = 0.02 \text{ 摩}$$

CuCl<sub>2</sub> 的物质的量浓度为：

$$\frac{0.01 \text{ 摩}}{0.1 \text{ 升}} = 0.1 \text{ 摩 / 升}$$

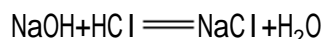
FeCl<sub>3</sub> 的物质的量浓度为：

$$\frac{0.02 \text{ 摩}}{0.1 \text{ 升}} = 0.2 \text{ 摩 / 升}$$

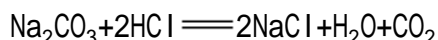
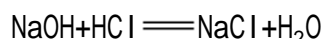
答：原混合溶液中 CuCl<sub>2</sub> 的物质的量浓度是 0.1 摩/升，FeCl<sub>3</sub> 的物质的量浓度是 0.2 摩/升。

[例 2] 称取 NaOH、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 的混合物 W 克，溶于水中，配成 250 毫升溶液，移取 25 毫升至锥形瓶中，加入酚酞，以物质的量浓度为 M 的标准盐酸滴定，耗用 V<sub>1</sub> 毫升盐酸时，酚酞恰好变为无色；另取 25 毫升加入甲基橙，耗用 V<sub>2</sub> 毫升盐酸时，甲基橙由黄变为橙色。计算混合物中的 NaOH、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 的百分含量。

[分析] 酚酞指示剂的变色范围是 pH 值 8~10，耗用 V<sub>1</sub> 毫升盐酸酚酞恰好变为无色时，此时溶液 pH 值为 8，混合物中的 NaOH 已全部中和为 NaCl，Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 跟 HCl 反应生成 NaHCO<sub>3</sub> 和 NaCl：



甲基橙指示剂的变色范围是 3.1~4.4，另取 25 毫升溶液，耗用 V<sub>2</sub> 毫升盐酸，甲基橙由黄变为橙色，此时，溶液 pH 值在 3.1~4.4 之间，混合物中 NaOH 被完全中和，Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 跟 HCl 反应生成 NaCl、H<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub>：



分析酚酞和甲基橙作指示剂发生的化学反应，可知中和 25 毫升溶液中 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 耗用盐酸的体积是 2(V<sub>2</sub>-V<sub>1</sub>)；NaOH 耗用盐酸的体积是：

$$V_2 - 2(V_2 - V_1) = 2V_1 - V_2$$

在 25 毫升溶液中 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 的质量是：

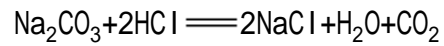
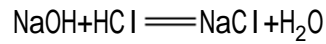
$$\frac{2(V_2 - V_1)}{1000} \times M \times \frac{106}{2} = 0.106(V_2 - V_1)M$$

在 25 毫升溶液中 NaOH 的质量是：

$$\frac{2V_1 - V_2}{1000} \times M \times 40 = 0.04(2V_1 - V_2)M$$

从 25 毫升溶液中含有 NaOH、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 的质量，可以算出 W 克样品中含有的 NaOH、NaCO<sub>3</sub> 的质量，进而算出它们的百分含量。

[解] 以酚酞作指示剂发生的化学反应是：NaOH+HCl=NaCl+H<sub>2</sub>O；  
Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>+HCl=NaHCO<sub>3</sub>+NaCl。以甲基橙为指示剂时发生的化学反应是：



样品中  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  的百分含量是：

$$\frac{0.106(V_2 - V_1)M \times \frac{250}{25}}{W} \times 100\% = \frac{106(V_2 - V_1)M}{W} \times 100\%$$

样品中  $\text{NaOH}$  的百分含量是：

$$\frac{0.04(2V_1 - V_2)M \times \frac{250}{25}}{W} \times 100\% = \frac{40(2V_1 - V_2)M}{W} \%$$

答：混合物中  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  占  $\frac{106(V_2 - V_1)M}{W} \%$ ， $\text{NaOH}$  占

$$\frac{40(2V_1 - V_2)M}{W} \%$$

## 近似原子量的计算

化学上使用的原子量是按该元素的各种天然同位素原子所占的原子个数百分比，乘以各自的同位素原子量算出的平均值。近似平均原子量是按该元素的各种天然同位素原子所占的原子个数百分比，乘以各自的同位素近似原子量(同位素的质量数)算出的平均值。

[例] 自然界的氯元素由 $^{35}_{17}\text{Cl}$ 和 $^{37}_{17}\text{Cl}$ 两种同位素组成，已知 $^{35}_{17}\text{Cl}$ 的原子量是34.9688，原子个数百分含量为75.53%， $^{37}_{17}\text{Cl}$ 的原子量是36.9659，原子个数百分含量为24.47%，计算氯元素的近似原子量。

[分析] 要正确区分原子量和近似原子量两个不同的概念。 $^{35}_{17}\text{Cl}$ 的原子量是34.9688，近似原子量是35； $^{37}_{17}\text{Cl}$ 的原子量是36.9659，近似原子量是37。按同位素原子量算出的平均值叫原子量，按同位素近似原子量算出的平均值，才是元素的平均近似原子量。

[解]  $^{35}_{17}\text{Cl}$ 的近似原子量是35，其原子个数百分比是75.53%； $^{37}_{17}\text{Cl}$ 的近似原子量是37，其原子个数百分比是24.47%。氯元素的平均近似原子量是：

$$35 \times 75.53\% + 37 \times 24.47\% = 35.489$$

答：氯元素的平均近似原子量是35.489。

## 五、化学实验

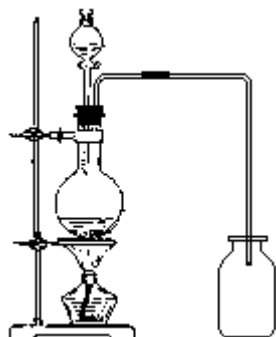
氯气的实验室制法实验室里可以用浓盐酸跟二氧化锰反应制取氯气，化学方程式是：



制取氯气使用的是固体粉末与液体反应制取气体的仪器装置见图。二氧化锰放在烧瓶里，浓盐酸注入分液漏斗中。制气时，打开分液漏斗的旋塞使浓盐酸慢慢滴入烧瓶，同时给烧瓶加热，使氯气均匀地放出。氯气易溶于水，要用向上排空气法收集。若需获得较纯净的氯气时，可用排饱和食盐水法收集。氯气收集完毕，剩余的气体应该用氢氧化钠溶液吸收，避免氯气逸散在室内污染空气。实验室里制取氯气也可以用浓盐酸跟高锰酸钾反应，化学方程式如下：

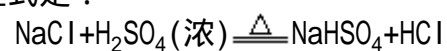


可以使用上述同样的制气装置。



## 氯化氢的实验室制法

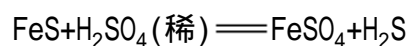
实验室里制取氯化氢是利用食盐和浓硫酸在不加热或稍微加热的条件下进行反应。化学方程式是：



这个反应是属于固体粉末与液体反应制取气体的类型，所用制气装置与实验室制取氯气的一样(参看氯气的实验室制法)。氯化氢极易溶于水，密度比空气大，只能用向上排空气法进行收集。氯化氢有很强的刺激性气味，收集氯化氢后的剩余尾气，不能逸散在室内，可用水进行吸收。

## 硫化氢的实验室制法

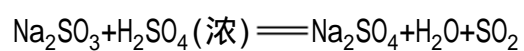
实验室里通常是用硫化亚铁跟稀盐酸或稀硫酸反应制取硫化氢，它们的化学方程式是：



制取硫化氢使用的是块状固体与液体反应制取气体的仪器装置(参看《初中卷》使用固体和液体药品制备气体的仪器装置)。硫化氢易溶于水，密度比空气大，应使用向上排空气法收集。检验集气瓶内是否已集满硫化氢，可将润湿的醋酸铅试纸放在集气瓶口，若试纸立即变黑，证明瓶内硫化氢气已集满。

## 二氧化硫的实验室制法

在实验室里，常用亚硫酸钠跟浓硫酸起反应制取二氧化硫。化学方程式是：



制气装置是用固体粉末与液体反应制取气体的仪器装置(参看《初中卷》使用固体和液体药品制备气体的仪器装置)。二氧化硫易溶于水，密度比空气大，收集二氧化硫是用向上排空气集气法。



## 氨的实验室制法

实验室里常用的是给铵盐和碱的混合物加热的方法制取氨气。一般是用加热氯化铵和氢氧化钙的混合物，化学方程式是：



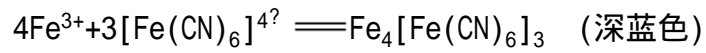
制气装置是用给固体药品加热制取气体的仪器装置。氨气极易溶于水，密度比空气小，要用向下排空气法收集。检验集气瓶中是否已集满氨气，可把润湿的红色石蕊试纸放在瓶口；若试纸立即变蓝，证明集气瓶内已集满氨气。

### 铵根离子的检验

检验铵根离子是利用铵盐能跟碱起反应放出氨气的性质。检验方法是：把少量铵盐晶体放入试管里，然后用胶头滴管滴入少量较浓的氢氧化钠溶液，给试管加热。小心地闻试管中放出的气体的气味，可以闻到氨的刺激性气味；将润湿的红色石蕊试纸悬放于试管口处，试纸由红色变成蓝色。根据以上现象可以检验出铵根离子的存在。

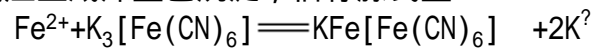
### 三价铁离子的检验

检验三价铁离子的常用试剂是硫氰化钾(KSCN, 也叫硫氰酸钾)。无色的硫氰根离子( $\text{SCN}^-$ )跟三价铁离子反应, 生成的是红色的 $[\text{Fe}(\text{SCN})]^{2+}$ 。这是检验  $\text{Fe}^{3+}$  的特征反应。例如检验氯化铁溶液里的  $\text{Fe}^{3+}$ 。在试管里注入少量氯化铁稀溶液, 滴入几滴硫氰化钾溶液, 溶液立即变成红色。检验  $\text{Fe}^{3+}$  也可以用亚铁氰化钾( $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ , 俗称黄血盐), 它与  $\text{Fe}^{3+}$  反应生成深蓝色沉淀(俗称普鲁士蓝):



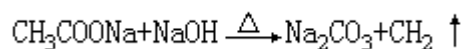
## 二价铁离子的检验

检验二价铁离子最灵敏的试剂是铁氰化钾( $K_3[Fe(CN)_6]$ 俗称赤血盐)。铁氰化钾与  $Fe^{2+}$  反应生成深蓝色沉淀，俗称滕氏蓝：

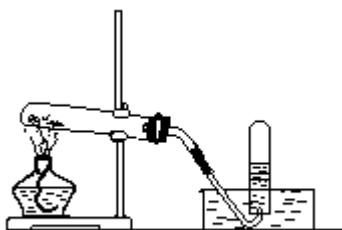


## 甲烷的实验室制法

实验室用无水醋酸钠与碱石灰(固体 NaOH 与  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  的混合物)共熔(约 300 以上)而产生。



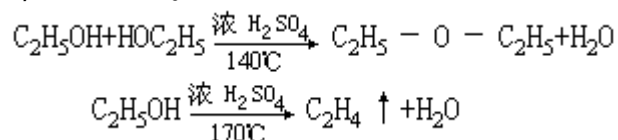
装置如图。先检查装置的气密性。把无水醋酸钠与碱石灰的混合物装入干燥试管中，试管口稍向下倾斜并固定在铁架台上。先用酒精灯均匀加热，再从试管底部固定加热，并缓缓向前移动灯焰。待试管里的空气赶尽后，用大试管排水收集，除非要求制取干燥的甲烷时，才用向下排空气法收集。收满甲烷的集气瓶，盖好毛玻璃片后应倒放在实验桌上，这样可以减少比空气轻的甲烷的逸失。停止加热时，要先把导管从水槽里撤出。碱石灰是由粉状生石灰与 NaOH 溶液作用后，在 200 ~ 250 干燥而成，这样能使 NaOH 与  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  混合很均匀。其中  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  的作用，除使 NaOH 分散细而匀，因而增加了 NaOH 与无水醋酸钠的接触面外，在加热时，还能减少熔融的 NaOH 对试管内壁的腐蚀。碱石灰极易吸湿，故在用无水醋酸钠和碱石灰混合加热制甲烷时，常有冷凝水出现，试管口如不稍向下倾斜，冷凝水将回流至灼热的试管底部而使试管炸裂。试管口稍向下倾斜时，冷凝水都汇集在试管口附近，不会回流。



甲烷的实验室制法

## 乙烯的实验室制法

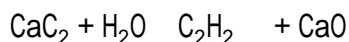
实验室一般是在加热条件下，用浓硫酸使乙醇脱水制取。其中浓硫酸起脱水剂和催化剂作用。在约 140℃ 时，乙醇脱水生成乙醚(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>O；在约 170℃ 时，生成乙烯。



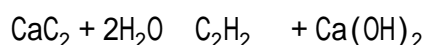
这是在有机化学反应中，反应物相同，反应条件不同而生成物不同的典型例之一。实验装置如图。检查装置气密性后，先在烧瓶中加入 10 毫升乙醇，然后分批缓缓加入浓硫酸共约 30 毫升。在乙醇中加入浓硫酸时，由于发生化学作用而放大量热，要冷却后再继续加浓硫酸，防止乙醇大量气化。再向烧瓶里加入几片碎瓷片。为了控制混合液受热温度在 170℃ 左右，须把温度计的水银球浸入混合液中。加热时，要使混合液的温度迅速越过 140℃ 温度区，这样，可以减少副产物乙醚的生成。混合液的温度达到 170℃ 时，即有乙烯产生。在加热过程中，混合液的颜色会逐渐变棕色以至棕黑色。这是由于乙醇部分发生碳化的结果。在 170℃ 时，生成的气体并非纯净的乙烯，其中常杂有少量 SO<sub>2</sub>。由于在加热条件下，浓硫酸除使乙醇发生脱水反应外，还会使乙醇(或其它生成物)发生氧化反应，浓硫酸还原产生 SO<sub>2</sub>。要获得较纯净的乙烯，可以把由烧瓶出来的气体先经 10%NaOH 溶液洗气，然后再收集。乙烯难溶于水，应该用排水法收集。收满乙烯的集气瓶，盖好毛玻璃片后倒放在实验桌上。停止加热时，要先把导管从水槽里撤出，防止因烧瓶冷却使水倒吸。实验后，应待烧瓶里的残粥状黑色混合物以及温度计冷却后再清洗。

## 乙炔的实验室制法

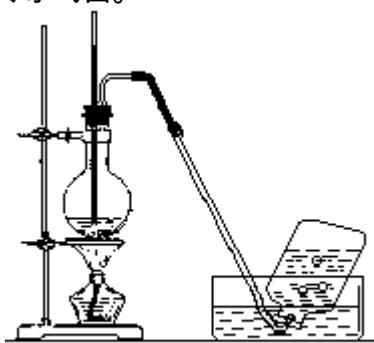
实验室中常用电石跟水反应制取乙炔。电石中因含有少量钙的硫化物和磷化物，致使生成的乙炔中因混有硫化氢、磷化氢等而呈难闻的气味。在常温下，电石跟水的反应是相当激烈的，可用分液漏斗控制加水量以调节出气速度。也可以用饱和食盐水代替水，这样，可以使反应较平稳。通常，乙炔发生装置用烧瓶(或广口瓶)和插有分液漏斗及直角导气管的双孔塞组成。检查装置的气密性良好后把几块电石放入烧瓶，从分液漏斗滴水(或饱和食盐水)即产生乙炔。如果把电石跟水的反应式写成：



是错误的。因为在有水存在的情况下，CaO 不可能是钙的最终产物，而  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (CaO 水化) 是最终产物才是合理的。正确的化学式应是：



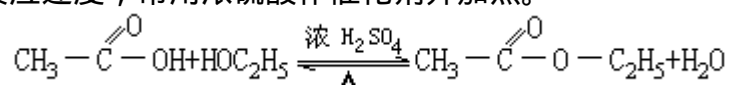
为了得到较纯净的乙炔，可以把从发生器出来的气体先经  $\text{CuSO}_4$  溶液洗气再收集。乙炔只微溶于水，应排水收集。用电石跟水反应制乙炔不应使用启普发生器，块状电石和水在常温下即能发生反应，表面上似乎符合启普发生器的使用条件，但当关闭启普发生器的活塞时，乙炔气虽能把水压入球形漏斗以使电石跟水脱离接触，但集存在球体内的大量水蒸气(电石跟水反应放热)却仍在缓缓继续跟电石发生反应，就是说，关闭活塞后，乙炔不能完全停止发生。这样，乙炔将缓缓从球形漏斗的上口间断逸出。平时，我们总能闻到电石有难闻的气味，就是因为电石跟空气里的水蒸气反应的结果。如果少量制取乙炔时，也可以用试管配单孔塞作反应容器，但应在试管口内松松塞一团棉花，以阻止泡沫进入导气管。



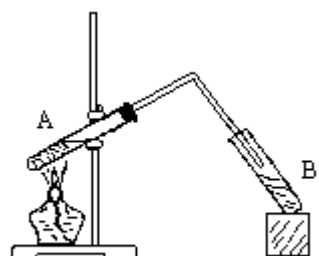
乙炔的实验室制法

## 乙酸乙酯的实验室制法

乙酸跟乙醇生成乙酸乙酯的反应，不但极慢，而且是可逆反应。为了加快反应速度，常用浓硫酸作催化剂并加热。



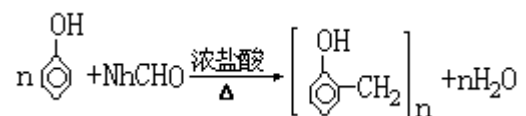
乙酸、乙醇、浓硫酸混合加热后，混合液中除乙酸乙酯和水外，还有未反应完全的乙酸和乙醇，而它们又是混溶的。其中乙酸乙酯的沸点为 77℃，乙醇 78.5℃，乙酸 117.9℃。从混合液中分离出乙酸乙酯应该用蒸馏法。规范的实验仪器为蒸馏烧瓶、冷凝器和温度计(与石油分馏装置相同)，实验时，温度计控制在 76~78℃。实验室制取很少量乙酸乙酯时，通常可以使用简易装置，如图。其中试管 A 相当蒸馏烧瓶，导管相当冷凝器(空气冷却)。在试管 A 中先加入 3 毫升乙醇和 2 毫升乙酸(互溶)，再加入 1~2 毫升浓硫酸，振荡均匀。先均匀加热(促进酯化反应)，然后加热使混合液保持微沸腾，试管 A 里的液体逐渐减少，试管 B 中液面积存一层有香味的油状液体，这是乙酸乙酯。沸腾时，蒸气冷凝所得液态物质中，除乙酸乙酯外，尚有乙酸和乙醇，它们是互溶的。冷凝液接触 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 后，乙酸被中和成乙酸钠，乙酸钠属离子化合物，它只溶于水而不溶于乙酸乙酯，这样，杂质乙酸即被除去；乙醇的一部分溶于 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 溶液的水里，另一部分仍溶在乙酸乙酯中，再用水多次洗涤乙酸乙酯，可基本把乙醇洗净。如用水或氯化钠溶液代替 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 溶液，则乙酸乙酯的回收率明显减少。用 NaOH 溶液代替 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 溶液也不好，NaOH 溶液会促进乙酸乙酯的水解，减少回收率，同时，不易判断乙酸是否已除净(用 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 溶液时，振荡后不再发生气泡即标志杂质乙酸已除净)。



制乙酸乙酯

## 酚醛树脂的实验室制法

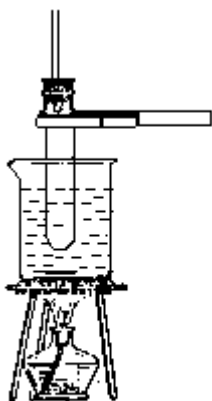
在大试管中加入 2.5 克苯酚和 2.5 毫升 40% 甲醛溶液，再加入 1 毫升浓盐酸，此时看不到明显现象。把试管口塞上插有长玻璃管 (> 30 厘米) 的单孔塞，再把试管放进沸水浴中加热 (沸水浴应为 100 恒温加热装置)，如图。混合液开始沸腾时，表示反应正在进行 (反应放热)，沸腾熄止时，表示反应已完成。反应方程式为：



继续加热约 10 分钟，以利酚醛树脂和水溶液充分分层。反应装置中的长玻璃管对挥发的反应物起冷凝回流作用。在这个实验中，所用苯酚过量，并用酸作催化剂，产物是线型高分子树脂；如甲醛溶液过量时 (如 2.5 克苯酚配 3—4 毫升 40% 甲醛溶液) 且用氨水作催化剂时，产物则是体型高分子树脂 (参看缩聚反应)。实验后的反应容器，需用酒精浸泡一些时间后，才易用水洗净。



## 硫酸铜晶体结晶水含量的测定



实验步骤是：制酚醛树脂

(1)称量 把托盘天平调零点后，准确称量清洁干燥(包括内外壁)瓷坩埚的质量(设为  $W_1$ )，并用这坩埚称取约 2 克(准确到 0.1 克)已经研碎的硫酸铜晶体(设坩埚和硫酸铜晶体总质量为  $W_2$ )

(2)加热 把坩埚放在铁圈的泥三角上，用酒精灯的外焰慢慢加热，直至硫酸铜晶体由蓝全变白。然后，用坩埚钳取下坩埚放入干燥器内冷却。

(3)称量 等坩埚冷却后，把坩埚放在天平上称量(记下总质量)

(4)再加热再称量 把坩埚再加热数分钟，放在干燥器里冷却后再称量(记下总质量)到两次称量的质量相差不超过 0.1 克为止(设最后恒定总质量为  $W_3$ )

(5)计算

$$\begin{aligned}\text{结晶水百分含量} &= \frac{\text{结晶水的质量}}{\text{硫酸铜晶体质量}} \times 100\% \\ &= \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \times 100\%\end{aligned}$$

如要求测定硫酸铜晶体的化学式，则计算式为：

$$\text{CuSO}_4 : x\text{H}_2\text{O} = \frac{W_3 - W_1}{\text{CuSO}_4} : \frac{W_2 - W_3}{\text{H}_2\text{O}} = \frac{W_3 - W_1}{160} : \frac{W_2 - W_3}{18}$$

解出  $x$ (取近似整数)，则化学式为  $\text{CuSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 。这个实验产生误差主要有以下几个因素：

(1)托盘天平的感量一般为 0.1 克，精确度不高，致使出现正误差或负误差，都有可能。

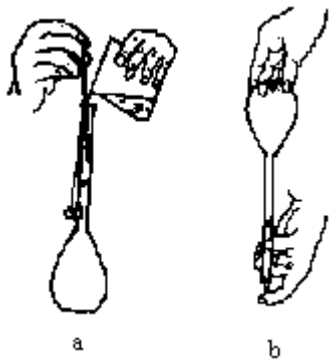
(2)如以由蓝变白作为硫酸铜晶体失水完全的标志，是不可靠的。坩埚里硫酸铜的表面虽已全变白，而内部可能尚有未失水完全的硫酸铜，这样实验结果偏低。以加热后两次称量的质量差不超过天平的感量(0.1 克)为失水完全的标志，则可避免了上述偏低的误差。

(3)在加热硫酸铜晶体过程中，如用玻璃棒搅拌，常因玻璃棒端沾有少许硫酸铜晶体或无水硫酸铜而使实验结果偏大。故不允许搅拌。(4)硫酸铜晶体如未研碎，加热时可能发生迸溅损失，致使实验结果偏大。

(5)用酒精灯加热坩埚时，由于酒精燃烧不完全常在坩埚底部积碳而导致实验结果偏小。故发现有积碳时，应在坩埚冷却后，用干纱布擦净后再称量。

## 容量瓶的使用

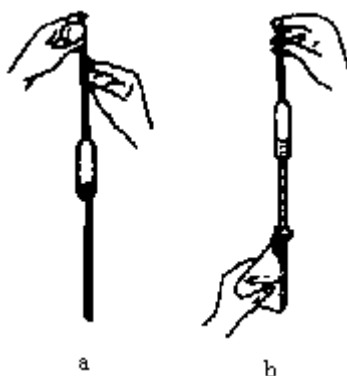
容量瓶主要用于准确地配制一定摩尔浓度的溶液。它是一种细长颈、梨形的平底玻璃瓶，配有磨口塞。瓶颈上刻有标线，当瓶内液体在所指定温度下达到标线处时，其体积即为瓶上所注明的容积数。一种规格的容量瓶只能量取一个量。常用的容量瓶有 100、250、500 毫升等多种规格。使用容量瓶配制溶液的方法是：(1)使用前检查瓶塞处是否漏水。往瓶中注入  $2/3$  容积的水，塞好瓶塞。用手指顶住瓶塞，另一只手托住瓶底，把瓶子倒立过来停留一会儿，反复几次后，观察瓶塞周围是否有水渗出。经检查不漏水的容量瓶才能使用。(2)把准确称量好的固体溶质放在烧杯中，用少量溶剂溶解。然后把溶液沿玻璃棒转移到容量瓶里(见图 a)。为保证溶质能全部转移到容量瓶中，要用溶剂多次洗涤烧杯，并把洗涤溶液全部转移到容量瓶里。(3)向容量瓶内加入的液体液面离标线 1 厘米左右时，应改用滴管小心滴加，最后使液体的弯月面与标线正好相切。(4)盖紧瓶塞，用倒转和摇动的方法使瓶内的液体混合均匀(见图 b)。使用容量瓶时应注意以下几点：(1)不能在容量瓶里进行溶质的溶解，应将溶质在烧杯中溶解后转移到容量瓶里。(2)用于洗涤烧杯的溶剂总量不能超过容量瓶的标线。(3)容量瓶不能进行加热。如果溶质在溶解过程中放热，要待溶液冷却后再进行转移，因为温度升高瓶体将膨胀，所量体积就会不准确。(4)容量瓶只能用于配制溶液，不能储存溶液，因为溶液可能会对瓶体进行腐蚀，从而使容量瓶的精度受到影响。(5)容量瓶用毕应及时洗涤干净，塞上瓶塞，并在塞子与瓶口之间夹一条纸条，防止瓶塞与瓶口



粘连。

## 移液管的使用

移液管是用来准确量取一定体积液体的量器。它是一种中间大、上下细且直径相等的玻璃管。上部管颈上刻有一标线，液体达到标线处即表示管内液体是该移液管所标明的容积。由于刻标线的管径很细，所以移液管量取液体的体积相当准确。移液管有 10、25、50 毫升等规格。有的移液管是直管形的，管上标有分刻度，这种移液管又叫吸量管，规格有 1 毫升、2 毫升、5 毫升等。使用移液管吸液时，用右手的拇指和中指拿住管颈标线以上部位，下部的尖嘴插入待移取的液体中。左手拿洗耳球，先把球中的空气挤出，然后将球的尖嘴端接在移液管的管口上，慢慢松开左手的洗耳球使液体吸入管内(见图 a)，当液面升到标线以上时，移去洗耳球，立即用右手的食指按住管口，将移液管的下口提出液面，稍稍放松食指使液面下降，同时用右手拇指和中指轻轻捻转管身，直到液体的弯月面与标线相切时，立即用食指压紧管口，取出移液管。放液时，将移液管插入承接液体的容器中。移液管保持垂直，管的下口靠在容器内壁，松开食指，使液体自然地沿容器壁流下(见图 b)。使用移液管应注意以下几点(1)用移液管吸液前需用滤纸把管尖口内外的水吸去，然后用欲移取的液体洗刷 2 - 3 次，以确保所移取液体的浓度不变。(2)移液管插入液体里不能太深，防止管外壁蘸液体太多；也不要太浅，防止吸空。(3)液体从移液管里流完后，要等 10 ~ 15 秒钟再拿出移液管。残留在管尖嘴内的一滴液体不能吹入容器里，因为在标定移液管容积时，已把这一滴液体扣除了。



## 滴定管的使用

滴定管是滴定操作时准确测量标准溶液体积的一种量器。滴定管的管壁上有刻度线和数值，最小刻度为 0.1 毫升，“0”刻度在上，自上而下数值由小到大。滴定管分酸式滴定管和碱式滴定管两种。酸式滴定管下端有玻璃旋塞，用以控制溶液的流出。酸式滴定管只能用来盛装酸性溶液或氧化性溶液，不能盛碱性溶液，因碱与玻璃作用会使磨口旋塞粘连而不能转动，碱式滴定管下端连有一段橡皮管，管内有玻璃珠，用以控制液体的流出，橡皮管下端连一尖嘴玻璃管。凡能与橡皮起作用的溶液如高锰酸钾溶液，均不能使用碱滴定管。酸式滴定管的使用方法是(1)给旋塞涂凡士林。把旋塞芯取出，用手指蘸少许凡士林，在旋塞芯两头薄薄地涂上一层，然后把旋塞芯插入塞槽内，旋转使油膜在旋塞内均匀透明，且旋塞转动灵活。(2)试漏。将旋塞关闭，滴定管里注满水，把它固定在滴定管架上，放置 1 - 2 分钟，观察滴定管口及旋塞两端是否有水渗出，旋塞不渗水才可使用。(3)滴定管内装入标准溶液后要检查尖嘴内是否有气泡。如有气泡，将影响溶液体积的准确测量。排除气泡的方法是：用右手拿住滴定管无刻度部分使其倾斜约 30°角，左手迅速打开旋塞，使溶液快速冲出，将气泡带走。(4)进行滴定操作时，应将滴定管夹在滴定管架上。左手控制旋塞，大拇指在管前，食指和中指在后，三指轻拿旋塞柄，手指略微弯曲，向内扣住旋塞，避免产生使旋塞拉出的力。向里旋转旋塞使溶液滴出。碱式滴定管的使用方法是：(1)试漏。给碱式滴定管装满水后夹在滴定管架上静置 1 - 2 分钟。若有漏水应更换橡皮管或管内玻璃珠，直至不漏水且能灵活控制液滴为止。(2)滴定管内装入标准溶液后，要将尖嘴内的气泡排出。方法是：把橡皮管向上弯曲，出口上斜，挤捏玻璃珠，使溶液从尖嘴快速喷出，气泡即可随之排掉。(3)进行滴定操作时，用左手的拇指和食指捏住玻璃珠靠上部位，向手心方向捏挤橡皮管，使其与玻璃珠之间形成一条缝隙，溶液即可流出。使用滴定管时还应注意以下几点：(1)滴定管使用前和用完后都应进行洗涤。洗前要将酸式滴定管旋塞关闭。管中注入水后，一手拿住滴定管上端无刻度的地方，一手拿住旋塞或橡皮管上方无刻度的地方，边转动滴定管边向管口倾斜，使水浸湿全管。然后直立滴定管，打开旋塞或捏挤橡皮管使水从尖嘴口流出。滴定管洗干净的标准是玻璃管内壁不挂水珠。(2)装标准溶液前应用标准液涮洗滴定管 2 - 3 次，洗去管内壁的水膜，以确保标准溶液浓度不变。装液时要将标准溶液摇匀，然后不借助任何器皿直接注入滴定管内。(3)滴定管必须固定在滴定管架上使用。读取滴定管的读数时，要使滴定管垂直，视线应与弯月面下沿最低点在一水平面上，要在装液或放液后 1 - 2 分钟进行。每次滴定时最好从“0”刻度开始。

## 配制一定物质的量浓度的溶液

操作步骤如下：(1)计算溶质的量；(2)量取所需量的溶质；(3)配制溶液；(4)储存配好的溶液。例如，配制 250 毫升 0.1 摩/升的氢氧化钠溶液。先计算出配制 250 毫升的氢氧化钠溶液所需氢氧化钠的质量。氢氧化钠的摩尔质量是 40 克/摩，0.1 摩的氢氧化钠的质量=40 克/摩 × 0.1 摩=4 克，250 毫升 0.1 摩/升氢氧化钠所含氢氧化钠的质量是：

$\frac{250\text{毫升} \times 4\text{克}}{1000\text{毫升}} = 1\text{克}$ 。在托盘天平上先称量一干燥而洁净的烧杯的质量，

然后将氢氧化钠放入烧杯，称取 1 克的氢氧化钠。往盛有氢氧化钠的烧杯里加入 30 毫升蒸馏水，用玻璃棒搅动，使其溶解。待溶液冷却后，沿玻璃棒注入容量瓶。再用水洗涤烧杯 2 - 3 次，每次用水约 30 毫升，洗涤液也注入容量瓶。振摇，使溶液混合均匀。继续往容量瓶里加水，直到液面接近容量瓶的刻度 2 - 3 厘米处，改用胶头滴管加水使溶液弯月面正好与刻度相切。把容量瓶盖好再振荡摇匀。此溶液即为 0.1 摩/升氢氧化钠溶液。配好的溶液储存于细口瓶中。

## 中和滴定

又称酸碱滴定。利用已知浓度的酸(或碱)，通过滴定来测定未知浓度的碱(或酸)。进行中和滴定时，酸、碱的浓度一般都用摩尔浓度表示。中和滴定的操作步骤是：(1)做好滴定前的准备工作 洗净滴定管； 检查滴定管是否漏水； 往滴定管里装标准溶液，将液面调至“0”刻度。(2)滴定。以已知浓度的盐酸测定氢氧化钠溶液浓度为例。用移液管量取 25 毫升待测氢氧化钠溶液放入锥形瓶里，滴入几滴甲基橙指示剂。振荡锥形瓶使溶液充分混合，这时溶液呈黄色。把锥形瓶放在酸式滴定管的下面，瓶下垫一白瓷板或一张白纸。右手拿住锥形瓶，左手小心地旋转酸滴定管的旋塞使酸滴下，边滴边摇动锥形瓶(向一个方向作圆周转动)，直到加入一滴酸后溶液颜色从黄色变为橙色，静置半分钟颜色不再变化，这就表示已到达滴定终点。读取滴定管液面所在刻度的数值，记录。将锥形瓶里的溶液倒掉，用自来水冲洗干净最后用蒸馏水淋洗一次。按上述滴定方法重复两次，记录每次滴定所用酸液的体积数。求出三次滴定数据的平均值，用以计算待测氢氧化钠溶液的摩尔浓度。如果是用已知浓度的氢氧化钠溶液测定盐酸的浓度，要先用移液管量取盐酸放入锥形瓶里，加入 2 滴酚酞指示剂。把氢氧化钠溶液注入碱式滴定管里进行滴定。滴定三次后用平均值计算出盐酸的摩尔浓度。

## 分液漏斗的使用

分液漏斗是用普通玻璃制成，有球形、锥形和筒形等多种式样，规格有50、100、150、250 毫升等。球形漏斗的颈较长，多用做制气装置中滴加液体的仪器。锥形分液漏斗的颈较短，常用做萃取操作的仪器。分液漏斗在使用前要将漏斗颈上的旋塞芯取出，涂上凡士林，插入塞槽内转动使油膜均匀透明，且转动自如。然后关闭旋塞，往漏斗内注水，检查旋塞处是否漏水，不漏水的分液漏斗方可使用。漏斗内加入的液体量不能超过容积的  $\frac{3}{4}$ 。为防止杂质落入漏斗内，应盖上漏斗口上的塞子。放液时，磨口塞上的凹槽与漏斗口颈上的小孔要对准，这时漏斗内外的空气相通，压强相等，漏斗里的液体才能顺利流出。分液漏斗不能加热。漏斗用后要洗涤干净。长时间不用的分液漏斗要把旋塞处擦拭干净，塞芯与塞槽之间放一纸条，以防磨砂处粘连。

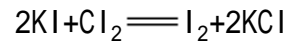
## 萃取和分液

萃取是一种常用的分离液-液混合物的方法,它是利用溶质在互不相溶的溶剂里溶解度的不同,用一种溶剂把溶质从它与另一溶剂所组成的溶液里提取出来的操作。分液是把互不相溶的两种液体分开的操作。一般分液都是与萃取配合使用的。萃取和分液常用的仪器是锥形分液漏斗。操作方法是(1)将被萃取液倒入分液漏斗里,加入适量萃取剂,这时漏斗内的液体总量不能超过容积的  $1/2$ 。盖上漏斗口上的磨口塞,用右手压住塞子,左手拇指、食指和中指夹住漏斗颈上的旋塞,将分液漏斗横放,用力振摇(见图)或将分液漏斗反复倒转并振荡。振荡过程中常有气体产生,应及时将漏斗倾斜倒置使液面离开旋塞,扭开旋塞把气体放出。(2)把分液漏斗放在铁架台的铁圈上,静置。(3)漏斗下放一承受容器如烧杯。打开分液漏斗上口的磨口塞或使塞上的凹槽与漏斗口颈上的小孔对准。(4)当漏斗内液体明显分层后,打开旋塞,使下层液体慢慢流入承受器里。下层液体流完后,关闭旋塞。上层液体从漏斗上口倒入另外容器里。



## 碘化钾淀粉试纸

把滤纸条浸于碘化钾和淀粉的混合溶液中，取出晾干即是碘化钾淀粉试纸。它主要用于检验氯气、单质溴的存在，也可以用于检验某些氧化剂如臭氧。用碘化钾淀粉试纸检验氯气时，要先把试纸润湿，然后再接触氯气，白色的试纸立刻变蓝。这时发生的反应是：



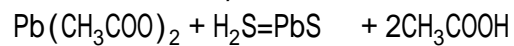
反应生成的碘与淀粉反应，生成特征的蓝色物质。碘化钾淀粉试纸要保存在干净的广口试剂瓶里。

## 淀粉试纸

把滤纸条浸于淀粉溶液里，取出晾干后即是淀粉试纸。淀粉试纸主要用于检验单质碘的存在。碘遇淀粉变蓝，这是碘的特性。用淀粉试纸检验碘水时，要用玻璃棒蘸取或用滴管吸取碘水，滴在淀粉试纸上。用试纸检验碘蒸气时，要将试纸用水润湿，然后将试纸悬于容器中。

## 醋酸铅试纸

将滤纸浸于醋酸铅 $[\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2]$ 溶液中，取出晾干后就是醋酸铅试纸。它主要用于检验硫化氢气体的存在。润湿的醋酸铅试纸遇到硫化氢气体时，产生硫化铅。白色的试纸立即变黑，化学方程式是：



醋酸铅试纸检验硫化氢气，非常灵敏。必须把试纸保存在密封、干净的广口试剂瓶里。使用时要用干净的镊子夹取。试纸用水润湿后要立即悬放在盛放硫化氢气体的容器中。

## 品红溶液

品红又叫一品红，它是一种染料。它的水溶液就是品红溶液，呈深红色。主要用于检验二氧化硫气体和亚硫酸的存在。品红遇二氧化硫(亚硫酸)后，立即褪色。用品红溶液检验二氧化硫气体时，是把二氧化硫经导气管通入盛有 1 - 2 毫升品红溶液的试管里，观察溶液的颜色变化。检验亚硫酸时，是将品红溶液滴入被检验的溶液里。用滤纸条浸品红溶液，晾干后即是品红试纸。用润湿的品红试纸可以检验容器里的二氧化硫。

## 焰色反应

有些金属或它们的化合物在灼烧时能使火焰呈特殊颜色。这是因为这些金属元素的原子在接受火焰提供的能量时，其外层电子将会被激发到能量较高的激发态。处于激发态的外层电子不稳定，又要跃迁到能量较低的基态。不同元素原子的外层电子具有着不同能量的基态和激发态。在这个过程中就会产生不同的波长的电磁波，如果这种电磁波的波长是在可见光波长范围内，就会在火焰中观察到这种元素的特征颜色。利用元素的这一性质就可以检验一些金属或金属化合物的存在。这就是物质检验中的焰色反应。一些金属或金属化合物(金属离子)的焰色反应的颜色列于下表。

金属元素	焰色	金属元素	焰色
锂	紫红色	钙	砖红色
钠	黄色	锶	深红色
钾	浅紫色(透过蓝色钴玻璃)	钡	黄绿色
铷	紫色	铜	绿色

进行焰色反应应使用铂丝。把嵌在玻璃棒上的铂丝在稀盐酸里蘸洗后，放在酒精灯的火焰(最好是煤气灯，因为它的火焰颜色浅、温度高)里灼烧，直到跟原来的火焰的颜色一样时，再用铂丝蘸被检验溶液，然后放在火焰上，这时就可以看到被检验溶液里所含元素的特征焰色。例如，蘸取碳酸钠溶液灼烧时，看到的火焰呈黄色。蘸取碳酸钾溶液，放到灯焰上灼烧，隔着蓝色钴玻璃观察，火焰呈浅紫色。实验完毕，要用稀盐酸洗净铂丝，在火焰上灼烧到没有什么颜色后，才能再去蘸另一种溶液进行焰色反应。

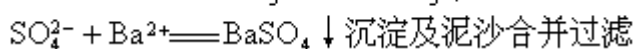
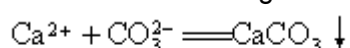
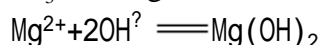
## 从草木灰中提取钾盐

草木灰的主要成分是碳酸钾和氧化钙、五氧化二磷。碳酸钾是可溶性的，通过溶解、过滤、蒸发和结晶等步骤，可以把草木灰中的钾盐提取出来。操作可按以下步骤进行：(1)在烧杯里放入一定量的草木灰，加水到高于草木灰表面 1-2 厘米处，微热，同时用玻璃棒搅拌，使草木灰中的钾盐溶解于水。(2)准备好一个过滤器，把烧杯中的草木灰连同浸液一起过滤。最后获得澄清的滤液。(3)把滤液倒入蒸发皿里，给蒸发皿加热，用玻璃棒不断搅动溶液，防止液滴飞溅。当蒸发到只剩少量液体时，停止加热。(4)静置冷却蒸发皿，钾盐晶体慢慢析出。

## 实验的记录

应该准备一个化学实验(尤其是实验习题)的专用记录本。它记录着某个实验的药剂的规格、用量、仪器、操作过程、现象、各种数据、产物的性状、产率以及异常情况。这些资料是编写实验报告的依据,或作为日后查阅之用的原始资料。做实验之前,应力求准备充分,特别是对反应原理的理解要透彻(阅读或求教),对操作程序的设计和安排要心中有数;时间的合理的分配也是不容忽视的,如实验的某个过程需时间较长,就可以穿插安排某些辅助性的其它环节的实验,这样就能大大节省时间,确保全部实验按时完成。例如:粗食盐(含 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 及泥沙)提纯并计算 $\text{NaCl}$ 产率。

原理:除 $\text{Ca}^{2+}$ 用 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,除 $\text{Mg}^{2+}$ 用 $\text{NaOH}$ ,除 $\text{SO}_4^{2-}$ 用 $\text{BaCl}_2$



沉淀及泥沙合并过滤

操作程序:称粗食盐\_\_\_\_\_克( $W$ )

蒸发皿质量\_\_\_\_\_克( $W_1$ )

(1)溶解 (2)加过量  $\text{NaOH}$  溶液 (3)加过量  $\text{BaCl}_2$  溶液

(4)加过量  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液 (5)过滤(滤液盛放蒸发皿中)

(6)向滤液中加稀盐酸至不出气泡 (7)蒸干

(8)称重(蒸发皿和  $\text{NaCl}$  总重)=\_\_\_\_\_克( $W_2$ )产品外观:

$$\text{产率} = \frac{W_2 - W_1}{W} \times 100\%$$

## 实验结果的分析 and 处理

在定量实验中，常需要测量各种数据。但任何测量的准确度都是有限的，如仪器的精度、药剂的纯度的影响以及由于引用近似公式换算等，使得测量结果都存在一定的误差。此外，在同样条件下，对某一个量进行重复测量时，测定值也不尽相同，这种差异的产生是没有固定原因的。因此，需要对测定结果进行分析和处理。比较简单的数据处理如用滴定法测定某溶液浓度时，重复测定所得数据与第一次测定所得数据相近但不相同，处理方法是求取平均值。又如测定硫酸铜结晶水合物化学式( $\text{CuSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ )时，由于测定的几个数据都有一定误差，代入公式计算出的  $x$  值如是  $5 \pm 0.2$  左右，处理方法是取近似整数 5。此处，由实验中获得的大量数据，可以用列表、作图或方程式表达出来。利用图形表达实验结果，更容易使人对数据的特点、数据变化规律一目了然，并能利用图形求得斜率、截矩、内插值、外推值、切线等。如测定某纯物质的溶解度曲线。先测出在不同温度下的溶解度数值，然后在直角坐标纸上，以横坐标代表温度，纵坐标代表溶解度，坐标轴旁注明变量的名称和单位。数据反映在图上的点要用  $\circ$  或  $\times$  符号图示清楚。把点连接的曲线不必都得经过所有各点，只要各点都在曲线两侧很近的距离内即可。总之，不能画成折线。对所有数据的计算或表示都要符合有效数字规则。

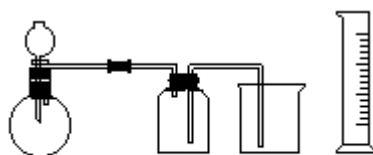


## 实验方案的设计

实验方案一般包括实验路线的优选；仪器和药剂的选择；实验装置的组合；操作程序的编排及条件的控制；数据的测量等。例如：

1. 用测量一定量电石跟水反应产生的乙炔的体积的实验方法，测定电石中  $\text{CaC}_2$  的百分含量，设计实验装置并指出操作程序和方法。

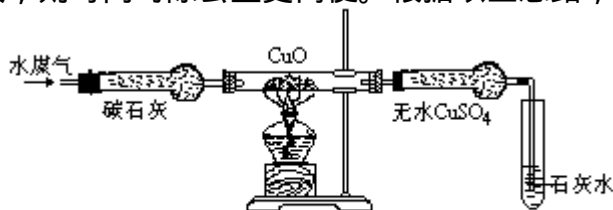
可用烧瓶配分液漏斗作乙炔发生装置，收集乙炔并排出水可用广口瓶配双孔胶塞组装，排出水的体积用量筒测量。组合装置如下图：



测定电石中  $\text{CaC}_2$  百分含量

操作程序是：(1) 在广口瓶内加水至满，(2) 检查气密性(设法使广口瓶和烧杯间的导管里充满水)，(3) 向烧瓶里加入一定量的电石(由广口瓶的容积计算而得。设容积是 500 毫升，则电石用量以 1.1 ~ 1.2 克为宜)。 (4) 从分液漏斗缓缓滴水至不再发生气体为止，(5) 待烧瓶恢复常温后(控制条件)，测量排出水的体积，记下数据并换算成标准状况，(6) 根据有关数据计算  $\text{CaC}_2$  百分率。

2. 工业水煤气中含  $\text{CO}$ 、 $\text{H}_2$  及少量水蒸气和  $\text{CO}_2$ ，为了证实水煤气中含  $\text{CO}$  和  $\text{H}_2$ ，设计简易组合实验装置，注明所用试剂并指明有关现象和结论。整体思路是：跟  $\text{CuO}$ (加热) 反应后有水生成，证明含  $\text{H}_2$ ；有  $\text{CO}_2$  生成，证明含  $\text{CO}$ 。检验生成水，用无水  $\text{CuSO}_4$ ；检验生成  $\text{CO}_2$  用澄清石灰水。关键的问题是水煤气跟  $\text{CuO}$  反应之前须先除去混合气体中的水蒸气和  $\text{CO}_2$ ，否则，得不出可靠的结论。除  $\text{CO}_2$  可用碱溶液，除水蒸气可用浓硫酸，但必须先除  $\text{CO}_2$  后除水蒸气。如用碱石灰，则可同时除去置更简便。根据以上思路，设计装置如下：

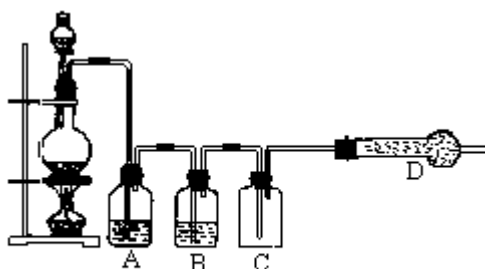


水煤气中  $\text{H}_2$  和  $\text{CO}$  的测定

无水硫酸铜由白变蓝，可证明有水生成，说明原混合气中含  $\text{H}_2$ ，石灰水变浑浊，证明生成物有  $\text{CO}_2$ ，说明原混合气中含  $\text{CO}$ 。

## 典型实验装置的识别

对典型实验装置的识别能力主要基于对实验目的、化学反应原理、药剂性能以及反应条件的理解和掌握。例如，属于物质制备、乍看似复杂的由多种仪器组合起来的实验装置，一般不外是发生、反应、净化(或分离)、收集、尾气处理的装置单元的组合那么就可以根据化学反应原理、所用药剂的性能以及对产物的特定要求，把整体实验装置分解为若干装置单元的有序组合。这样，就可以较容易地识别每个装置单元的功能和作用，并能从整体上把握实验装置原理，进而才可能提高完成其它类似实验(包括仪器和药剂的稍加改动)识别装置的迁移能力。例如：实验室制备纯净、干燥的氯气的实验装置图示如下，指明 A、B、D 所盛药剂和作用：



实验室制备纯净、干燥氯气的装置近图

烧瓶和分液漏斗组合成氯气发生装置(浓盐酸和  $\text{MnO}_2$  混合加热)，C 为氯气收集装置。浓盐酸和  $\text{MnO}_2$  混合加热时，除发生化学反应产生氯气外，还有浓盐酸的挥发，故氯气里会杂有氯化氢和水蒸气。既然要求收集的氯气须纯净且干燥，那么装置 A 和 B 必是为了除水蒸气和氯化氢而设的装置，且 A 除氯化氢、B 除水蒸气；如果 A 除水蒸气 B 除氯化氢，则最终不能获得干燥的氯气。图示 A 内是液态物质，它最好能充分吸收氯化氢而同时又尽可能少溶解氯气，故用饱和食盐水；B 内也是液态物质，它应吸收水蒸气而不溶解氯气，故可用浓硫酸。D 的作用显然是吸收由 C 扩散出来的氯气而设置的，图示 D 内盛的是颗粒状物质，它可以是碱石灰或固体氢氧化钠。

## 六、科学家和化学史

### 门捷列夫

(D. I. Meudeleev, 1834—1907) 门捷列夫 1834 年生于俄国西伯利亚托博尔斯克。父亲是高级中学校长，祖父是西伯利亚第一家报纸的出版者。门捷列夫小时曾受一位政治流放者的影响学习并热爱自然科学。中学毕业时是全班第一名。1847 年他父亲去世，母亲为了他的学习，带他到莫斯科和彼得堡，1850 年进入彼得堡师范学院学习。在 1869 年 6 月他委托其好友门舒特金在俄罗斯化学会上宣读：“元素属性和原子量的关系”的论文，阐述了元素周期律的论点。这是门捷列夫对人类的最重要的贡献，至今我们还在应用元素周期律。当时他还列出了第一张元素周期表，并预见了一些尚未发现的元素。1869~1871 年为学生写成《化学原理》一书。于 1887 年提出溶液水化理论。并研究气体和液体的体积与温度和压力的关系。1888 年他首先提出了煤地下气化的主张。1890 年因同情学生运动而辞职，为此没能选为俄国科学院院士。1892 年被任命为度量衡局局长。他反对降神术和唯能论。他是俄国天才的科学家，进步的社会活动家。。

## 范德华

(J.D.vanderwaals1837—1923)荷兰物理学家。青年时代家境贫寒，无力入学读书。在工作之余，刻苦钻研，自学成才，1873年他的论文“论液态和气态的连续性”引起了学术界的关注。并获得了莱顿大学的博士学位。经过研究，他认识到如果假定气体分子不占有体积，而且分子之间不存在引力，则可从气体分子运动论得出理想气体的状态方程，但是，这两项假定不符合事实。1881年，他给这个方程引入两个参量，分别表示分子的大小和引力，得出一个更准确的方程即范德华方程。他还研究了毛细作用，对附着力进行了计算。他在研究物质三态(气、液、固)相互转化的条件时，推导出临界点的计算公式，计算结果与实验结果相符。

1877—1907年任阿姆斯特丹大学教授。1910年因研究气态和液态方程获诺贝尔物理学奖。原子间和分子间的吸引力被命名为范德华力。1873年他最先假设了这种力，以研究关于真实气体的理论。

## 布 朗

(R·Brown, 1773—1858)布朗是英国著名植物学家,1773年12月21日生于苏格兰的蒙特罗斯,长期从事植物分类学研究。1827年,他在用显微镜观察水中悬浮的花粉粒子时,发现粒子在无外力作用下,总不停地运动。进一步发现悬浮在液体或气体中的微粒(直径约为 $10^{-3}$ 毫米,称为“布朗微粒”)作永不停止的无规则运动,后来人们把这种现象称为“布朗运动”。这是一种很有名的自然现象,间接显示物质分子处于永恒的热运动中。1905年爱因斯坦提出微粒运动理论阐明了布朗运动,是由分子运动所引起的。布朗于1858年6月10日在伦敦逝世,享年84岁。

## 勒沙特列

(Henry L. LeChatelier 1850—1936) 法国化学家。曾就读于巴黎洛兰学院、埃克勒工学院、矿业学院。在冶金、玻璃、水泥，燃料等方面有许多贡献。

1854年他提出了著名的勒沙特列原理即化学平衡移动原理：对于处于平衡状态的体系，如果改变影响平衡的一个条件(如浓度，压强，温度)，平衡就向能够减弱这种改变的方向移动。根据这一原理可以预测各种条件变化对于化学平衡的影响。在化学实验，尤其是在化学工程中，为寻求最佳条件提供了理论基础。

他还发明了铂铑温差热电偶和光学高温计，研制了氧-乙炔切割器，并独立于美国的 J. W. 吉布斯(Gibbs)发现相律。

曾任工程师，也曾任矿业学院，巴黎大学教授，第一次世界大战期间任法国武装部长。

## 凯库勒

(Friedrich A. Kekule 1829—1896) 德国有机化学家。主要研究有机化合物的结构理论。

在吉森大学获博士学位。曾受教于著名化学家李比希等人。先后在海德堡大学、根特大学(比利时)、波恩大学任教。

早年，他在前人工作的基础上发展了类型论，认为分子的性质主要由类型决定，并试图建立一个有机物的整体的类型学说。1857—1858年，他提出了有机物分子中碳原子为四价，而且可以互相结合成碳链的思想，为现代结构理论奠定了基础。他的另一重大贡献是在1865年发表“论芳香族化合物的结构”论文，第一次提出了苯的环状结构理论。这一理论极大地促进了芳香族化学的发展和有机化学工业的进步。充分体现了基础理论研究对于技术和经济进步的巨大推动作用。

凯库勒一生著述甚丰。1929年，安许茨(R. Anschütz)主编，在柏林出版了两卷凯库勒资料汇编，包括他的生平、工作以及论文等。

曾任波恩大学校长和德国化学会主席。培养出拜尔等一批优秀化学家。1895年被德国皇帝威廉二世赐予贵族封号。

## 汤姆生

(Joseph J. Thomson 1856—1940) 英国物理学家。1876 年毕业于剑桥大学三一学院，并留在卡文迪许实验室工作。在气体放电方面进行过不少研究，在电磁学理论方面也有贡献。1897 年通过对阴极射线的研究，测定了电子的荷质比(电荷  $e$ /质量  $m$ )，从实验上发现了电子的存在。此后他又提出了一种原子模型，认为原子是一个平均分布着正电荷的均匀球体，电子镶嵌于其中，整个原子呈电中性。1912 年通过对某些元素的极隧射线的研究，提出了同位素的存在，第一次发现了质量数为 22 的稳定同位素氖。

1884 年任卡文迪许实验室主任，培养出 7 名诺贝尔奖金获得者。该实验室获得了科学研究与教育中心的盛名。1905 年被任命为英国皇家学院教授，1916 年当选为英国化学会主席，1918 年任三一学院院长。

1906 年因关于气体导电的研究获诺贝尔物理学奖。在很大程度上，可以认为由于他的努力使原子物理学成为现代科学。



## 卢瑟福

(Ernest Rutherford 1871—1937) 物理学家，生于新西兰，毕业于新西兰大学和剑桥大学，长期在英国工作。研究原子结构和放射性现象卓有成效。1899 年发现放射性辐射中的两种成分，并由他命名为  $\alpha$ -射线和  $\beta$ -射线。接着发现新的放射性元素钷。1930 年证实  $\alpha$ -射线为正离子流(氦核)， $\beta$ -射线为电子流。1902 年与英国化学家索第 (F. Soddy) 一起提出原子自然蜕变理论。1911 年根据  $\alpha$ -粒子的散射实验(卢瑟福实验)，最初发现了原子核的存在，并据此提出了原子结构的行星模型。1919 年用  $\alpha$ -粒子轰击氮原子而获得氧的同位素，第一次实现了元素的人工嬗变，并发现了质子。1920 年他提出了中子假说，1932 年被查德威克 (Sir James Chadwick) 所证实。

曾在马克岐尔大学(加拿大)、曼彻斯特大学、剑桥大学任教，并任卡文迪许实验室主任。培养出玻尔、莫斯莱 (Henry G. J. Moseley)，查德威克 (Sir James Chadwick) 等著名物理学家。

1908 年因对放射化学的研究，获诺贝尔化学奖。1925—1930 年任英国皇家学会主席。1931 年被英王授予勋爵桂冠。

## 玻尔

(Niels Bohr, 1885—1962)玻尔于 1885 年 10 月 7 日出生在丹麦哥本哈根一知识分子家庭。受家庭的熏陶并得到良好教育,使他知识视野很广,大学毕业后同卢瑟福共创原子科学的新时代。于 1913 年综合了普朗克的量子理论,爱因斯坦的光子理论和 E·卢瑟福的原子模型,提出了新的原子模型,即后来被称为玻尔理论。这理论成功地解释了氢光谱并排出了新的元素周期表。1922 年由于对原子结构理论的重大贡献,获得了诺贝尔物理奖。1930 年以后研究核物理和分子生物学等,并取得重大成就。和许多科学家共同研制了世界上第一颗原子弹。玻尔的一生得到过很多荣誉,除诺贝尔物理奖外,还获得过英国、挪威、意大利、美国、德国、丹麦给予科学家的最高奖赏。得到各种学术头衔、名誉学位,会员资格比任何一位同时代的科学家都多。他热爱祖国,以他的决心和胆识,谢绝各种外来的高薪聘请,在一个人口不到五百万的丹麦国建立起物理学的国际中心,把哥本哈根建成了物理学家“朝拜的圣地”。他的一生就是不断地进取和创造。为后来人树立了光辉的榜样。

## 侯德榜

(1890—1974)字致本，著名化学家，侯氏碱法的创始人。于 1890 年 8 月 9 日出生于福建省闽侯县坡尾村的农民家庭。1907 年以优异成绩毕业于福州英华书院。1913 年以特别优秀的成绩完成预科学业，公费派往美国留学。1921 年获博士学位，同年接受永利碱业公司的聘请，回国发展我国的化学工业。曾任塘沽永利碱厂和南京永利硫酸铵厂总工程师兼厂长、永利化学公司总经理。为解决当时国内外市场急需纯碱，在较短的时间掌握并改进了著名的索尔维制碱法，使工艺过程缩短，而产量大增，1939 年首先提出并自行设计的新的联合制碱法的连续过程，使纯碱工业和氮肥工业得到发展，这就是著名的“侯氏制碱法”。

他积极参加科学学会的活动，曾任中华全国自然科学专门学会联合会副主席，中国科协副主席，中国化学会理事长，中国化工学会理事长，中国科学院学部委员。主要著作有《碱的制造》、《制碱》、《制碱工学》等。1974 年 8 月 26 日病逝，享年 84 岁。

## 保 里

(Wolfgang Pauli 1900—1958)奥地利出生，于 1946 年入美国籍。物理学家。1925 年发现泡利不相容原理，即一个原子内不能有两个电子具有相同的运动状态。用以解释原子光谱和原子核外电子的周期性排布。为此 1945 年获诺贝尔物理学奖。1924 年

提出描述原子中电子运动状态的自旋量子数，数值可取为  $+\frac{1}{2}$  和  $-\frac{1}{2}$ 。1931 年提出中微子的概念[由 E·费密(Fermi)命名]，1956 年中微子被观测到。

曾先后在汉堡大学、苏黎世联邦理工学院、普林斯顿高级研究所任教和从事研究工作。

## 维 勒

(FriedrichWöhler1800—1882)德国化学家。主要从事有机合成和无机物研究。

幼时喜欢化学，尤其对化学实验感兴趣。1820年入马尔堡医科大学学医，但仍常在宿舍中进行化学实验。他的第一篇科学论文是“关于硫氰酸汞的性质”，发表在“吉尔伯特年鉴”上并受到著名化学家贝采里乌斯(JonsJ.Berzelius)的重视。后到海德堡大学，拜著名化学家格美林(LeopoldGmelin)，生理学家蒂德曼(FriedrichTiedemann)为师。1823年取得外科医学博士学位。毕业后在贝采里乌斯的实验室工作一年，以后曾在法兰克福、柏林等地任教。

1828年他发表了“论尿素的人工制成”一文，引起了化学界的震动。这被认为是第一次人工合成有机物，对当时流行的生命力学说是巨大的冲击，并开创了有机合成的新时代。他还曾研究苦杏仁油，发现了氢醌、尿酸，可卡因等。

在无机化学领域，他也有不少贡献。1827年和1828年发现了铝和铍两种元素。对硼、钛、硅的化合物进行了广泛研究并发现了硅的氢化物。

## 路易斯

(Gilbert N. Lewis 1875—1946) 美国物理化学家。在化学热力学、原子分子结构、化学键理论、光化学、同位素化学、酸碱理论等方面都做出了贡献。

毕业于哈佛大学。1899年，在诺贝尔奖获得者 T. W. 理查兹 (Richards) 指导下获博士学位。曾在哈佛大学、麻省理工学院、加州大学伯克利分校任教。

在麻省理工学院工作时期，他提出了逸度和活度的概念，使原来只适用于理想体系的热力学能够应用于真实体系，并对一些十分重要的热力学量作了准确测量和校准。如标准生成自由能、标准电极电势等至今仍在应用。1923年他与兰多尔特合著的《热力学和化学物质的自由能》一书已成为经典著作。1916年，他提出化学键是两个原子共享一对电子的重要概念。后经郎缪尔 (Irving Langmuir) 的发展，为人们普遍接受。1923年他的《原子分子的价和结构》一书为物理有机化学和价键理论的发展奠定了基础。从他的电子理论出发，他还为酸碱作出了更为广泛的定义：可接受一个电子对的物质是酸，可给出一个电子对的物质是碱，形成路易斯酸碱理论。1933年他首次分离氢的同位素氘，并制备重水的纯样品。

他还是一位优秀的教学与科研工作的组织者和领导者，为使美国化学跃居世界先进行列做出重大贡献。培养出吉奥克 (William F. Giauque) 等一批诺贝尔奖获得者。

## 电子的发现

1879年英国克鲁克斯(William Crookes)在抽真空的玻璃管中装上两片金属电极，并将高压直流电接到电极上。他发现通电后阴极产生一种射线，称为阴极射线。此后，人们开始研究阴极射线的本质。1895年，佩兰(Jean-Baptiste Perrin)将铝集电管置于阴极射线的通路上，并在管中检测出负电荷，从而推断阴极射线是带负电荷的粒子。这一结论为汤姆生进一步证实。

汤姆生研究了阴极射线受磁场和电场的影响而发生偏折。1897年他在论文中指出：根据实验数据可以计算出一个粒子所带的电荷与其质量的比值，即荷质比( $e/m$ )。他发现由不同物质制成阴极，应用不同的电压，管内充以不同气体，阴极射线都具有相同的性质： $e/m$ 值)均为  $5.1 \times 10^{17} \text{e.s.u./g}$ 。显然，这种带负电的微粒是一切物质所共有的基本微粒。他称这种带负电荷的微粒为电子。1899年，他用“落滴法”测得电子电荷约为  $3 \times 10^{-10} \text{e.s.u.}$

## 原子核的发现

1899年，物理学家卢瑟福发现放射性元素镭发出的射线中，有在磁场中偏转的 $\alpha$ -射线和 $\beta$ -射线。1903年他证实 $\alpha$ -射线为正离子流(氦核)， $\beta$ -射线为电子流。在研究 $\alpha$ -射线的穿透能力时，他发现大部分 $\alpha$ -粒子均可穿过极薄的金属箔，少数发生偏转，个别的被反弹回来。这就是著名的 $\alpha$ -粒子散射实验。据此，他设想：原子内部一定是有一个带正电的、坚硬的核。核只占据很小的空间，他估算核的半径约为 $3 \times 10^{-12} \text{cm}$ ，而原子半径约为 $1.6 \times 10^{-8} \text{cm}$ 。这样，大部分 $\alpha$ -粒子可以从原子中的空隙穿过，但如果遇到核，则将被反弹回来，或发生一定角度的偏转。这一实验，证实了原子核的存在。从而改变了汤姆生的原子模型。1911年卢瑟福提出了“行星系式”原子模型。对于认识原子结构具有十分重要的意义。



## 原子结构的发现

人们对于原子结构的认识是一个不断发展深化的过程。19世纪初，道尔顿认为原子不可分割。1897年，汤姆生发现电子，否定了原子不可分割的认识。1904年他提出了“浸入模型”。他认为原子是一个平均分布着正电荷的均匀球体，其中镶嵌着电子，中和了正电荷：原子是电中性的。1911年，卢瑟福通过 $\alpha$ -粒子散射实验，发现了原子核，即原子中的正电荷并不均匀分布，而是密集于极小的、坚实的原子核内。他提出了“行星系式”原子模型：“在原子的中心有一个带正电荷的核，它的质量几乎等于原子的全部质量，电子在它的周围沿着不同的轨道运转，就象行星环绕太阳运转一样”。1913年，玻尔综合了普朗克(MaxPlanck)的量子理论，爱因斯坦(AlbertEinstein)的光子理论和卢瑟福的原子模型，提出了新的原子模型：在原子核的周围，电子被匀称地分布在一些同心环上，他引入量子化条件，成功地解释了氢原子光谱；1926年薛定谔(ErwinSchrödinger)提出了波动力学(量子力学)概念，在此基础上建立了现代原子结构模型。核外电子运动状态用波函数描述，即电子云模型。

## 元素周期律的发现

19 世纪在原子、分子学说确立，化学元素原子量的数据日趋完备之时，人们试图将化学元素加以分类，确立其间的相互关系。最早的尝试是 1829 年德贝莱纳(JohannW.Dobereiner)的三素组。将当时已知的 44 种元素中的 15 种分成 5 组，每组的三元素性质相似，中间元素的原子量，等于其余两元素原子量之和的一半。1862 年，尚古多(BegyerdeChancourtois)提出“螺旋柱”的分类法。把元素按原子量大小标记在螺旋线上，性质相似的元素出现在圆柱体的同一条垂线上。1865 年，纽兰兹(JohnA.R.Newlands)提出了“八音律”。他将已知元素按原子量递增顺序排列在表中，发现元素性质有周期性重复：第八个元素与第一个元素性质相近。

1869 年，俄国化学家门捷列夫发表论文“原子量与元素性质的关系”提出，将元素按原子量的大小加以排列，其性质表现出明显的周期性。化学性质相似的元素，或者是原子量相近，或者是依次递增相同的数量。原子量的大小决定元素的特征。还有一些未知的元素尚待发现，如果知道某一元素的相类似的元素，原子量的数值有时可以订正。这就是门捷列夫元素周期律的最初内容。门捷列夫还同时提出了他的元素周期表。1871 年，他写出了总结性文章“化学元素的周期规律性”指出：“可以用下列方式表达周期律：各元素的性质，以及由元素构成的简单物质和复杂物质的性质都随各元素的原子量变化呈周期性的关系”。

门捷列夫的同时代人，德国化学家迈耶尔(JuliusLotharMeyer)也独立地发现了化学元素的周期性规律，1864 年他给出了“六元素表”，1869 年，在门捷列夫之后，他也独立地制成了一个化学元素周期表。

20 世纪，一系列物理学的新发现使元素周期律有了新的意义：元素的物理和化学性质，以及由元素形成的各种化合物的性质，都与元素核电荷数成周期性关系。

## 元素周期表的发现

元素周期表是元素周期律的具体表达形式。1869年，俄国化学家门捷列夫在“俄国化学会志”上发表了元素周期表，这张表中包括了当时已发现的所有元素。性质类似的各族是横排，周期是竖排，为未知元素留了4个空格。1871年，他又给出了经过修正补充的第二张表，在新表中共有8组(竖行)和10类(横行)。族是竖排，周期是横排的改进使各族元素性质的周期性变化更为清晰。8组元素以氧原子价为2的标准，原子价分别为1~8价。每一组又有两个竖行，把当时性质尚不够明确的元素集中在左边，就是副族的原型，这张表已很接近现在的短式周期表。在新表中当时留有6个空格。

1864年德国化学家迈耶尔按元素原子量递增的顺序给出“六元素表”，1868年他也给出了元素周期表，但未公诸于世，1869年门捷列夫周期律发表后不久，他也独立地制出了周期表于1870年发表。明确指出元素性质是它们原子量的函数。这张表比门捷列夫周期表对相似的元素族划分得更完善，而且形成了现在的过渡元素族

1930年以前人们多用门捷列夫的短式周期表。现在多用的长式周期表分7行，16列，是维尔纳(Alfred Werner)提出的。

## 原子量的测定和原子量基准

由于原子的质量极小，一般不直接使用原子的实际质量而采用相对质量称为相对原子量简称原子量(按法定计量单位，应称为相对原子质量)。

国际原子量与同位素丰度委员会给原子量下的最新定义(1979)是：一种元素的相对原子质量是该元素1摩尔的质量对核素 $^{12}\text{C}$ 的1摩尔的质量 $1/12$ 的比值。由于绝大多数元素都有同位素，所以平常所用的原子量为平均相对原子质量，即某元素一个原子的平均质量与1个 $^{12}\text{C}$ 原子质量的 $1/12$ 之比。由此可见原子量的基准为 $^{12}\text{C} = 12$ 。这是国际纯粹与应用化学联合会1961年确定的。历史上曾用过的基准是 $\text{O} = 16$ (斯塔，1860年)， $\text{O} = 100$ (贝采里乌斯，1826)， $\text{H} = 1$ (道尔顿，1803)

原子量的测定早期均采用化学方法。例如由 $2\text{NO}/\text{O}_2$ 的质量比可得N的原子量，再由 $\text{AgNO}_3/\text{Ag}$ 而得Ag的原子量等等。美国化学家T.W.里查兹由于重新精确测定了元素的原子量荣获1914年诺贝尔化学奖。从40年代起，质谱法逐渐取代了化学法。目前只有少数元素的原子量取自化学法和质谱法的平均值，大多数元素的原子量是由质谱法测定。我国化学家梁树权测定的铁元素的原子量，于1940年初收入国际原子量表，沿用至今；1991年国际原子量委员会决定修订铟、钨、铼三元素的原子量，其中铟原子量的新值是根据我国化学家张青莲等的科研成果确定的，表中铈元素的原子量也是张青莲教授测定的。由国际原子量与同位素丰度委员会负责发布原子量及其误差范围。

## 苯环结构的发现

1825 年法拉第 (Michael Faraday) 发现苯。1845 年霍夫曼 (A.W. von Hofmann) 从煤焦油中分离出苯。这个化合物的分子式为  $C_6H_6$ ，不饱和程度很高，热稳定性也高，易取代，难加成。用当时的有机物结构理论，难以给出合理的结构。

1865 年德国化学家凯库勒提出了苯的环状结构学说。认为苯的结构可以用正六边形表示，这是第一个用环状结构表示的化学物质。他提出六个碳原子组成一个封闭的苯核，为了符合碳的四价理论，他认为形成芳香核的 6 个碳原子依次以一个或两个原子价彼此相连，每个碳原子上都有一个氢原子。这样，分子中的六个氢原子都是等同的，苯的一元取代产物不存在异构物。

苯的环状结构的提出为芳香族化学的发展奠定了基础。大量事实证明凯库勒的苯的环状结构的基本观念是正确的。但也还未能说明苯的全部特性。例如，根据凯库勒式苯的邻位二元取代产物应当有两种异构体，但实际上却只有一种，1872 年凯库勒把静止的价键概念加以补充和发展，提出“振荡”假说，即苯分子中的单双键在碳原子间交替振荡，这样苯的邻位二元取代物就只有一种。

凯库勒式不能解释为什么苯分子中碳碳键长是相等的，没有单双键的区别。不能解释为什么苯不易加成而易取代。不能说明苯所特有的热稳定性。

大量事实表明，苯分子中并不存在普通的碳碳单键和双键，而是一种特殊的价键，但习惯上人们仍沿用凯库勒式来表示苯的结构。尽管现在人们对苯的结构已有了新的认识。

## 有机物的首次合成

1828年德国化学家维勒发表了“论尿素的人工制成”一文。在化学史上这被认为是有机物的首次人工合成。

维勒曾根据生理学家蒂德曼的建议研究动物和人尿液中的各种物质。他从尿液中分离出纯净的尿素。在研究氰酸及其盐类时，他用氯化铵溶液处理氰酸银得到一种白色晶体，用氨水处理氰酸铅也可以得到。他证实这种白色晶体是尿素，并与天然尿素完全相同。

18世纪到19世纪初，生物界和化学界流行生命力学说，认为有机物只能在生命力作用下在有机体内产生，不可能由无机物人工合成。维勒的发现强烈冲击了生命力学说，开创了有机合成的新时代。尽管这一发现最初只是孤立的个别事例，但在它的启示下，促使人们不断探索，相继合成出乙酸、脂肪、糖类等一系列有机物，有机合成得以蓬勃发展。

## 共价键学说的创立

1903, J.J. 汤姆生(Thomson)提出化学键的电子理论, 即由于电子转移而使产生的正、负离子用静电引力而结合, 这种正负理论用以解释离子型化合物如 NaCl 获得成功。但却不能解释非离子型化合物。G.N. 路易斯注意到许多化合物包含的价电子数为偶数, 如  $\text{NH}_3$  含 8 个价电子,  $\text{CH}_4$  含 8 个,  $\text{CO}_2$  含 16 个,  $\text{SO}_3$  含 24 个等。他认为原子间共享两个电子则可形成一个化学键, 即共价键。当原子间共享电子对使外层电子达到惰性气体的结构时, 最稳定(即八隅律)。1916 年他发表了关于化学键是两个原子共享一对电子的论文。

用小点来表示共用电子对。如  $\text{Cl}_2$  的成键为: $\cdot\ddot{\text{Cl}}:\ddot{\text{Cl}}\cdot$ 。现在人们仍沿用这种表示式称为路易斯结构式。路易斯的理论解释共价化合物的成键获得成功。

1927 年海特勒(W.H.Heitler)和伦敦(F.London)首次用量子力学处理氢分子。在自旋反平行电子对成键的基础上根据原子轨道最大重叠观点, 解释了共价键的本质, 后为 L. 鲍林(Pauling)等发展, 称为价键理论(电子配对理论)。1932 年前后, R. 密立根(Millikan)等人发展了分子轨道理论, 从分子整体的观点, 解释共价键的本质。

## 七、化学学习方法

### 化学基本概念的学习

概念反映事物的本质和内在联系，准确深刻地理解基本概念是学习和掌握化学知识的基础。化学基本概念大体上可以分为以下几类：有关物质组成的概念，如元素、单质、化合物、酸碱盐等；有关物质结构的概念，如原子、分子、化学键等；有关物质性质的概念，如氧化性、还原性、酸碱性等；有关物质变化的概念，如化合与分解，取代与加成等；有关化学量的概念，如原子量、分子量、物质的量等。

掌握化学概念要经过感知、理解、巩固和运用的过程。首先要通过生动的直观感知，可以利用实物、模型、图表、电教手段等，注意观察和想象。理解概念是中心环节，例如通过个别实验感知了化学变化，要经过分析、比较综合概括出化学变化的基本特征是有新物质生成。要准确地掌握概念的定义，内涵是什么？外延是什么？有些概念容易混淆例如电解和电离，就要注意比较，掌握概念之间的区别和联系。概念也有一个由浅入深的发展过程。例如：氧化还原概念，在不同的学习阶段其深广度就有所不同。最后，要通过复述、复习、练习、计算、实验等多种方式巩固和运用概念，以达到准确理解熟练掌握的目的。



## 化学基本理论的学习

学习化学基本理论可以从本质上认识物质的结构、性质和变化。掌握物质之间的内在联系和规律，正确理解和灵活运用化学概念，提高分析和解决问题的能力。中学化学基本理论主要有原子结构、分子结构、元素周期律、化学反应速度和化学平衡、氧化还原、分散系等。

基本理论较为抽象、逻辑严密并有很强的思想性。在学习时要充分应用直观教具或形象比喻使抽象的理论具体化，形象化。如电子云模型、原子、分子结构模型。要抓住最基础、最本质的内容，分清主次。例如电解质溶液理论，讨论了弱电解质的电离平衡、电离度、电离常数，水的离子积、盐的水解等。其核心是弱电解质的电离平衡、抓住它，其它内容就容易理解。还要注意基本理论的内在联系，使之系统化。例如：氧化还原理论、元素周期律都与物质结构理论有关，要把它们紧密联系起来，才能融汇贯通。应该在适当阶段进行归纳总结，或列出表格以加深印象。最后，掌握理论的目的是指导实践。所以要注意理论知识的灵活运用。例如学习化学平衡理论就可指导学习电离平衡、水解平衡等并解决一些相关的具体问题。

## 化学用语的学习

化学用语是表示物质组成、结构及其变化规律的一种特殊语言。主要包括元素符号、化学式、化学方程式等。化学用语是学习化学的工具，始终贯穿于整个化学学习之中。正确熟练掌握和运用化学用语是化学学习的基本功。学习化学用语，记忆当然是必要的，但不只是单纯的机械记忆，要强调理解记忆。例如，离子符号必须理解了原子、离子的概念以后才能正确书写和使用。不掌握化合价规律也就不可能正确书写化学式。另外，化学用语也是逐渐演变发展的。元素符号是基础，可以组合成化学式，进而组合成化学方程式。有了这一基础，又懂了有关的基本概念，则对原子、离子符号、电子式、结构式等就都容易达到顺畅书写和使用。学习化学用语时还要注意根据化学事实，即具体的化学物质及化学变化来学习，这样才能印象深刻、正确掌握，不出生编乱造的差错。作为一种工具，加强训练是十分重要的，要经常地、反复地读、写、用才能加深理解，熟练掌握。在学习过程中，特别是初学时，制卡片，编韵语、做游戏、搞竞赛等都是有益的辅助活动。

## 化学事实的学习

化学事实一般指元素与化合物知识，是化学基础知识的重要组成部分，是化学概念，化学理论形成，理解与运用的基础。中学化学元素化合物知识是按从个别元素到元素族到周期系；从无机物到有机物的顺序编排的。内容面广，量多。一般感觉“易学易忘”，“难记难用”。解决这一问题的关键是正确处理理解与记忆的关系。首先要抓住知识之间的有机联系。例如知识与理论之间的联系，以理论为指导把知识串联起来。具体物质的结构、性质、存在、制法、用途之间的关系。各类有机物之间的衍生关系等等。其次要重视实验。通过实验观察，分析推理不仅能获取感性认识，加深印象，也能培养分析问题的能力。再次要学会运用分析对比的方法。抓住共性，注意个性，举一反三，就便于掌握，不易混淆。还应及时进行归纳小结，如元素族的通性，有机官能团的特性等，或列表或画图均可。最后，元素化合物在生产生活中应用广泛，如能经常密切联系实际，就可以生动活泼地学习，取得良好的效果。

## 有机化合物知识的学习

有机化合物和无机化合物在元素组成、价键结构等方面有自己的特点。这类知识种类繁多，反应难记，初学时常感困难。对于有机化学的基本概念如异构现象、通式，同系物、系统命名等一定要准确掌握。例如，若对甲烷分子的立体结构认识得清楚，对于二氯甲烷是否有异构体的问题就不会产生错误判断。对于同分异构概念有清晰的认识、在推导可能存在的有机物结构时就不会出现遗漏或错误。其次，要掌握各类有机物结构和性质之间的关系。有机物的性质由结构决定。特别是官能团，是应应的中心。所以只要了解化合物的结构和官能团，就可以大致判断它应有什么性质，提供区分各类有机物的特征反应。例如分子中有碳碳双键，就可推测能发生加成、氧化、聚合等反应。当然也要注意化合物的特殊性(个性)，例如，甲酸能发生银镜反应。再次，要掌握各类有机物之间的相互转化关系，这是有机制备的基础。学习的目的在于应用。有机物种类繁多，掌握了相互转化关系，就可以熟练地解答制备问题，甚至可能提出几种合成路线。最后，要注意做好实验，加深感性认识，充分利用模型，培养空间想象能力。有机物在生产生活中有广泛应用，在学习过程中若能经常联系应用，将有助于加深认识和记忆。

## 系统复习

可分为阶段性复习和终结性复习。前者是指在一章、一个单元、期中、期末进行的复习；后者主要指初中或高中学业结束时的总复习。系统复习可以使平时学习的知识系统化、规律化，进行分析综合，从而得到深化和提高。系统复习之前要确定内容、制订计划，拟出提纲，以做到有针对性，有系统性，有计划性。在实施时要注意：(1)综合运用，发挥理论的指导作用。例如，在元素化合物部分复习时特别要紧紧抓住物质结构和元素周期律。(2)要注意能力的培养。不是只靠大量做题，要通过做题培养思维能力。注意进行归纳综合，可以采取列提纲，制表格等形式。(3)不同学生学习基础，学习能力有差别。在系统复习时，要从实际出发，在力争达到统一要求的前提下，要针对自己的实际情况，提出具体目标，在自己原有的基础上得到提高。这就要特别注意在教师指导下，发挥自己学习的主动性。(4)要注意系统复习不只是单纯为了巩固已有知识，还有再提高的任务。系统复习具体方法很多，可以拟提纲，列图表，可以做练习、可以做实验。如有条件还可利用展览、电教等手段。

## 观 察

人们有目的、有计划地感知和描述客观事物的一种科学认识方法。利用感官获取关于研究对象大小、形状，颜色、冷热，变化等多种感性认识。有量的观察也有质的观察。例如，在化学研究中，人们常用眼睛来观察化学反应中的颜色变化，用鼻子来鉴别化学反应中的气味改变。随着科学的进步，人的观察能力也逐渐发展，可以从直接的感官观察，发展到用仪器观察。仪器可以使人们的感官延长，并减少和避免感官局限所带来的误差。例如现代的电子显微镜可以拍摄到钨原子的照片。从对自然条件下的观察发展到设计实验进行观察。观察范围也逐步扩大，从地面发展到太空。

观察要注意客观、全面、系统。善于抓住最主要的东西，以透过现象，发现本质，抓住规律性的东西。例如，从对火和燃烧现象的观察中，探究燃烧的本质。对于一些偶然现象也应有所注意。不少科学发现都是对偶然现象进行跟踪追查，最终从偶然中发现必然。

## 测 量

确定数与量的过程为测量，依靠人的感觉器官可以对温度、重量、距离等进行粗略测量。要想进行精确测量或扩大测量范围就必须借助于仪器。测量是化学中常用的实验和研究手段。例如要研究化学反应速度，就要通过实验进行测量。研究化学反应的热效应(燃烧热、中和热等)也要进行测量。分析化学则是以测量物质的组成为研究对象。

随着科学技术的发展，测量手段也不断进步。测量所得到的信息可以有形的信号通过仪器显现和记录，并可配合以计算机进行数据处理。应当注意的是测量可能有误差。

## 分 析

把研究对象的整体分解为它的各个组成部分，把复杂物质及化学反应过程分解为简单要素分别加以研究，从而认识物质与化学运动本质规律的方法。事物本身都存在着整体与部分的辩证关系，整体由部分构成，整体在一定条件下可分解为其各个组成部分，而各组成部分又从不同方面表现了事物的整体性。这样人们就有可能采取分析的方法对事物进行认识。例如，一个具体的物质先通过现象认识其性质，进而认识其化学组成，最后再深入认识其分子结构，从而得到对这一具体物质的整体性认识。化学中的分析方法有通过实验手段的分析和借助于思维过程进行理论分析两大类。实验手段可以把复杂物质分解，了解其组成和结构。可以把复杂反应分解为多步基元反应来研究等。通过实验分析人们可以得到大量感性材料，为思维中的理论分析提供依据。理论分析能从事物的整体深入到各个组成部分，通过深入认识各个组成部分来认识事物的内在联系和规律。



## 比 较

区分事物之间的相同点和不同点的逻辑方法。事物之间总是存在着同一性和差异性，这就提供了比较的依据。在化学领域中普遍存在的个性与共性是人们进行化学比较的客观基础。由观察实验获得的大量化学方面的感性材料，必须经过比较和分类才能进一步进行归纳分析等思维活动，形成化学概念，发展各种理论。

通过比较人们区分了元素、原子、分子等不同的物质层次，发现了不同类型的化学反应。在周期律的学习中，我们要进行同周期，同主族元素的比较。分析化学更常利用比较方法，例如比色分析。在化学研究中人们还常将实际事物与理想事物进行比较，例如实际气体和理想气体的比较等。

比较要注意从外表上有很大差异的事物间认识它们在本质上的共同点。例如，各种元素性质千差万别，但它们的原子组成都是原子核和核外电子两部分。在外表上极为相似的事物间要揭示它们在本质上的差异性。例如，同主族的元素，尽管化学性质相似，但因结构上的差异仍表现出一定的性质递变规律。

在比较时应当注意比较的相对性和局限性。不能绝对化。

## 抽 象

人们在认识客观事物的过程中，对所获得的感性材料进行思维加工。透过现象、深入里层、舍弃个别的、表面的非本质的属性，抽取出一般的、内部的、本质的属性，就是抽象。任何事物都有现象和本质。例如，一种物质，它所具有的能被人们感知的物理和化学性质是现象，而其内部结构是本质。物质的性质是由其结构决定的，我们可以通过对物质性质的研究，来认识它的内部结构，这就需要抽象。又如化工生产中的蒸馏操作，就是舍弃具体物质蒸馏的工艺特殊性(如原油蒸馏、煤焦油蒸馏等)，抽取它们操作的共同性而形成的化工单元操作。

科学抽象的结果是得到反映事物本质的科学概念、原理或规律。实践是抽象的基础。它既是取得抽象所依据的感性材料的源泉，又是检验抽象所得结果是否正确标准。

## 概 括

形成概念的一种思维过程和方法。即从思想中把某些具有一些相同属性的事物中抽取出来的本质属性，推广到具有这些属性的一切事物，从而形成关于这类事物的普遍概念。例如，从铁、铝、锡等具体物质的物理性质和化学性质中抽取它们都具有光泽、延性、展性、导电性、导热性良好等物理性质，以及可与空气中氧气反应等化学性质，进而推广到有这些共同性质的物质，从而得出金属的概念。近代元素概念、酸碱盐概念，氧化还原概念，价键概念，化学反应速度概念，化学平衡概念等，都是通过概括得出的。

概括和抽象有联系。没有抽象就不能进行概括。在进行抽象和概括时，要注意舍弃次要的、非本质的属性，把主要的、本质的属性抽取出来，再通过概括推广到同类事物的全体。

## 推 理

由一个或几个已知的判断(前提), 推导出一个未知的结论的思维过程。其作用是从已知的知识得到未知的知识, 特别是可以得到不可能通过感觉经验掌握的未知知识。推理主要有演绎推理和归纳推理。演绎推理是从一般规律出发, 运用逻辑证明或数学运算, 得出特殊事实应遵循的规律, 即从一般到特殊。例如, 在水溶液中能电离出氢离子的物质为酸(阿伦尼乌斯电离理论) 硫酸在水溶液中能电离出氢离子, 所以硫酸是酸。演绎推理是一种必然性的推理。只要推理的前提真实, 推理的形式合乎逻辑, 结论必然也是真实的。归纳推理是从实验和观测得到的事实材料、实验数据出发, 得出理论性的一般结果或规律, 即从个别到一般。例如, 我们研究某一主族各元素的性质之后, 可以归纳出该主族元素的通性。需要注意的是: 如果不能考察某类事物的全部对象, 而只根据部分对象作出的推理, 不一定完全可靠。

## 假 设

在逻辑学上即假说。根据一定的事实材料和理论知识，对于研究对象的未知性质及其原因或规律的某种推测性的说明。是一种将认识由已知推向未知，进而变未知为已知的一种思维方法。例如，古代人们为了解释燃烧现象提出了燃素假说。依据是通过对燃烧现象的观察，发现燃烧时似乎总有某种东西从物质中跑掉而剩下灰渣。于是推测所有可燃物都含有一种共同的物质称为燃素。可燃物由燃素和灰渣两部分组成。燃烧时燃素逸去，留下灰渣。假说具有科学性和假定性，要经受实践的检验。如经过实践检验是正确的，则发展为规律和理论；若得到否定的结论，则被放弃。以燃素说为例，后来人们发现金属煅烧时重量反而增加，这是燃素说所不能解释的。氧气发现后，拉瓦锡提出了氧化说解释燃烧现象。从化学中排除了燃素这种虚幻的东西。在化学发展过程中，道尔顿的原子假说、阿佛加德罗的分子假说等，除了解释作用以外，也启发人们在某一定方向上去思考，深化人们对化学现象的认识。例如，在分子假说的启发下，利用气体密度法测定了一些物质的分子量。围绕着化合物是否有固定组成的两种假说间的论争，最后确立了定组成定律(定比定律)，也促进了原子论的普及，科学地区分了化合物和混合物的概念。

## 实 验

人们为实现预定的目的，在人工控制的条件下，研究客观对象的一种科学认识方法。是化学研究中最基本、最常用的方法。古代炼金术士就已经有了熔化、焙烧、溶解、过滤、结晶、蒸馏等手段。再如，通过对空气的实验研究发现了空气的组成。近代化学的发展，更离不开实验，特别是利用新仪器、新技术的实验。

实验的特点是可以简化或纯化环境(外界条件)的作用，排除次要因素，突出重要因素。例如温度对化学反应速度有较大影响，其它一些因素也会产生一定的影响。为了探讨温度对个别反应影响的具体规律性，可以应用恒温装置来进行实验。人们还可以按照计划将若干因素组合，甚至强化条件，如在超低温、超高温、高真空等条件下进行实验。根据需要，通过控制实验条件，可以使相应的化学现象重现，以供重复观察研究。

化学实验种类繁多。按研究问题的质或量，可分为定性实验，定量实验。按研究领域可分为无机化学实验，有机化学实验……。按实验的作用可分为条件实验，对照实验。中间实验、合成实验等。

实验是检验科学假说、理论的重要手段。实验现象为相关的假说、理论提供肯定或否定的证据。

实验的一般过程是设计方案、实际操作、处理数据、分析和解释结果。实验中应注意科学全面地观察、严格控制条件、正确操作、认真记录等。

## 应考心理

考试时保持良好的心理状态，在现场能正常发挥是取得成功的重要因素之一。考试不同于平时的学习和练习，应试者难免有紧张情绪。适度的紧张、兴奋对于提高思维活动和智力水平有益。但有人出现焦急不安，恐慌甚至头昏，头疼，担心考试失败，对原来掌握的知识都可能想不起来，难以集中注意力等现象，即考试焦虑心理。

应考心理最重要的是树立信心、沉着冷静、排除干扰，以保持注意力集中、思维活跃、记忆清晰。对考试要有正确的态度。一定的“自我压力”有助于督促自己争取好成绩，但要适度。要做好两手准备：一方面要争取考好，另一方面也要想好万一考不好的对策，不夸大失败的后果。要有合理的自我期望值，这样就使树立信心有了思想基础。抓好平时学习和考前复习准备，相信自己的知识水平和能力，是树立信心的实力基础，因为心理紧张的根本原因是“心中无数。”如果有了适当的期望值，又有了充分的准备，自然容易放松，遇到个别问题也容易“泰然处之”，当然还要掌握一定的应试经验和技巧。要注意锻炼身体，做到劳逸结合，临考前更要放松、不可过劳，要有充足的睡眠。

考试中如果遇到意外情况，要冷静处理、积极补救，力求不影响情绪。一旦出现怯场先兆，可以暂停答题，休息片刻，调整呼吸，全身放松，以恢复正常状态。

应考心理的培养有一个过程。要在平时的各种练习和考试中注意训练。可以在教师指导下采用自信训练，放松训练，脱敏训练等方法。

## 化学题型

化学习题是教学基本环节之一，可以加深学生对知识的理解与掌握，培养思维能力和分析解决问题的能力。题型就内容而言可分为定性习题和定量习题。就教学功能而言可有复习题、练习题、计算题、实验题，综合题等。

化学试题则是为了考查学生对知识技能掌握的程度，了解教学效果。一般采用书面方式进行。有主观性试题和客观性试题两大类。题型还可分为填空题、选择题、简答题、计算题、绘图题、综合题等多种类型。

填空题是考查对化学概念、原理或事实中某些关键词句理解与掌握的程度。要求以一个词汇、数字、短语或一个句子填入题内空格中。选择题是客观性试题，为标准化考试的主要题型，包括题干和选择项(备选答案)两部分，可以有一个、两个或多个正确答案。简答题可以比较完整地考察学生对某些知识的理解和运用情况。计算题从量的方面反映物质及其变化规律，将数学运算与化学知识结合，运用有关概念、原理及相关的逻辑关系来计算求解。绘图题常用来考察个别仪器，实验装量和一些函数关系图象。综合题是为了扩大考查范围和深度，而将以上几种基本题型组合成的。



## 选择题解题要领

选择题要求在所给的选择项(备选答案)中,选择正确的答案。这种题概念性强,涉及知识面广,要通过分析对比、去伪存真,选出正确结论。要求学生熟练掌握知识技能,并有较强的辨异能力。答题时首先阅读试题的说明(如果有的话)和听取监考教师的解释。弄清答题的要求和方式。例如是单选,双选还是多选;错误回答是否要倒扣分等。然后仔细审题,即题干和选择项。因为在选择项中有干扰项(错误答案),常有似真性,迷惑性,更应特别注意。如对考查内容很熟悉,可以用选择正确法,即直接找出最清楚、准确、全面的正确答案。(此法对多选题不一定合适)。如果不是很有把握可用排除错误法(筛选法)。即逐个排除错误答案,最终筛选出正确答案。例如:下列一定属于同系物的一组是:(1) $C_2H_4$ 和 $C_3H_8$ (2) $C_2H_6$ 和 $CH_4$ (3) $C_2H_6O$ 和 $C_2H_4$ (4) $C_7H_8$ 和 $C_8H_6O$ (单选)。选项(3),(4)每一对物质元素组成(种类)都不同,显然不对。选项(1)虽然两物质都由碳氢两种元素组成,但数量不是相差 $CH_2$ 或其整数倍,而是相差 $CH_4$ ,也不正确。选项(2)两物质均由碳氢两种元素组成,通式相同(烷烃),相差 $CH_2$ ,是唯一正确的答案。此外,对于较复杂,不易直接判断的可详细分析,反复比较,不轻易判断。也可采取逆推法,即从答案出发,反过来推导,看是否与题意相符,如无矛盾,则为正确答案。在举棋不定而又再无时间考虑时,如果允许猜(不倒扣分),不妨猜选答案。

## 填空题解题要领

填空题是客观试题题型之一，不是识别性题。一般考事实、名称、概念、公式、原理等。例如：原子是\_\_\_\_\_的最小微粒。考的是原子概念。所以答题时应尽可能快速、简短、清晰地写出答案，不必解释。一定要紧扣题目要求，能用一个词就不用一句话，不需要的不写。也有的填空题在填空前要进行推理或简单的计算。例如：在 HF、HCl、HBr、HI 中键能最大的是\_\_\_\_\_、键长最短的是\_\_\_\_\_、极性最强的是\_\_\_\_\_、沸点最高的是\_\_\_\_\_、分子最稳定的是\_\_\_\_\_、其水溶液是弱酸的是\_\_\_\_\_、由单质生成该卤化氢 1 摩尔时反应热数值最大的是\_\_\_\_\_。根据对卤素氢化物的知识分析推断，上述各空都应填答 HF。在不倒扣分的前提下，如不能确切回答，可以尽量据理猜答。

## 简答题解题要领

简答题为答案比较简短的主观性试题。主要包括简释题、列举题、扼要说明题、简述题等。因为属主观试题，要自己构思、组织和表达，所以答题时要直截了当，开门见山，言简意明，尽量注意使用术语，论据充足，论证充分。例如，在 80℃ 时，纯水的 pH 小于 7，为什么？答案应为：已知在室温时纯水中的  $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7} \text{ mol/L}$ ，又因水的离解 ( $H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$ ) 是吸热反应，故温度升高到 80℃ 时电离度增大，致使  $[H^+] = [OH^-] > 10^{-7} \text{ mol/L}$  即  $\text{pH} < 7$ 。如果只答  $[H^+] > 10^{-7} \text{ mol/L}$  显然没有回答问题。如果答了温度升高，纯水电离度增大，也不够完全。但也没有必要从化学平衡原理答起。

如果一时不知如何作答，可再三仔细读题，以发现线索，回忆知识细节。在没有把握的情况下不妨多写些。要注意书写工整。因为是简答，要注意时间的分配要合理，不能占用过多时间。

## 自我评价

为教育评价的一种，教育评价是获取和处理用于确定学生水平和教学有效性的证据的方法。是简述教育的最终目标与教学任务目标的一种辅助手段，以确定学生按这些理想方式发展到何种程度的一种过程。

自我评价是由评估对象自身主持的评价。分集体(如班级)和个人两种。一般先要确定教学目标作为评价的依据。然后编选描述学习成果的测试项目、步骤方法，作为评价的手段。最后要对评价结果作出分析，为以后的学习提供依据这就是评价的意义。即全面收集信息，积累资料，督促检查，不断自我调节，自我改进。自我评价可以是纵向比较(如期末和期中比较)，也可以是横向比较(如与其他同学比较)。可以是综合的，如化学学习的整体，也可以是单项的，如化学概念、化学计算等。目前已有些材料或出版物为学生自我评价提供目标、方法和手段，如提供知识能力测试题目等。但要注意这种材料应有权威性，而且由于个体差异，往往含有一定的偏差。

## 科学态度的培养

化学作为一门科学，学习方法也必须科学。除了学习化学本身的知识、概念和理论以外，在学习过程中培养实事求是、严肃认真的科学态度也是重要任务。

态度都是后天形成的，是在生活中通过对别人的模仿或学习逐渐形成。所以学生应该自觉注意培养，教师应该指导帮助。

学习知识本身要严谨、准确。例如化学概念，内涵是什么？外延是什么？概念之间的区别与联系，都要一清二楚。不能似是而非，更不能不懂装懂。平时的练习、作业和考试，无论是文字表达，还是数学计算，都必须认真对待，一丝不苟。对于出现的错误更要弄清原因、彻底改正，总结经验，以免重犯类似的错误。在学习过程中凡有疑难，必须积极设法求解，或自学独立思考，或求教于老师同学。解决疑难的过程也就是培养自己勇于求知，科学探索的态度的过程。

实验是化学学习的重要环节，是在教师指导下独立进行的科学实践活动，是培养科学态度的重要途径。实验前一定要做好预习，明确目的要求，实验过程中要规范操作，细心观察，积极思考，准确记录。对于实验结果和数据作出科学的解释和处理，对于异常现象进行分析讨论，按时完成实验报告。

总之，自觉地坚持高标准、严要求。耳濡目染，日积月累，就能在学好化学的同时，培养出良好的科学态度。

## 应试的一般技巧

考试是检查学习成绩和教学效果的一种形式。考试的成败取决于实力、心理和技巧三个因素。应试的一般技巧是事前做好准备，带齐应试用品。试卷发下后，如监考人有说明要认真听，不急于答题。一般来说，应该使用全面看题，先易后难的答卷法。即首先过目全部试题(不要遗漏)，看清各题所占分数比例，估计解答所需时间，迅速确定答题计划和时间安排(留有复核和机动时间)，然后由易到难开始答题。如做题时遇到意外困难，立即改做它题。有人怕全面看题会使情绪紧张，也可以按顺序先易后难答卷。一般不使用不分难易按顺序逐一答卷的方法。

每题都要认真冷静审读，因为心理紧张常会导致看错题，看不完全题。对于形式上与以前做过的题类似的题目更应细读。审题之后要全神贯注解答，每分必争，分秒必争。答案要抓住要点，宁多勿少，争取一次做对。切忌粗心大意。如遇难题，要深入分析，发挥应变能力。稳扎稳打，步步为营。要注意书写规范工整。要充分利用考试时间，按时交卷即可，不必提前交卷。答完之后要认真检查，逐一复核从审题开始，查漏补缺，改正错误。如果是连续考试，考完一门后不必忙着核对答案，以免影响下一门考试。全部考完后可再进行回忆、分析，总结经验教训。

