

前 言

为使广大青年能够系统地自学一些化学基础知识，我们在院党委领导下，编写了这本《无机化学基础知识》。

本书力图以辩证唯物主义为指导，注意用原子结构和平衡理论的观点贯穿前后，对于有关计算、氧化还原、化学平衡和电离理论等内容，都尽量作了较为系统的阐述。在编写过程中，我们注意理论联系实际，努力作到由浅入深，循序渐进。为了便于读者自学，每节开头提出了学习要求，节后附有习题，计算题写有答案。因本书稿的编写时间较早，书中的计量单位未能改用国际单位。

由于我们水平有限，书中可能有缺点和错误，望读者批评指正。

在编写过程中，济南钢铁厂中心化验室和山东省实验中学化学教师，曾对本书提出了宝贵意见，在此表示感谢。

山东工学院化学教研室

一九七八年五月

目 录

第一章 物质 物质的变化和原子结构	1
第一节 物质和物质的变化	1
第二节 物质的性质 化合反应和分解反应	3
第三节 分子和原子	7
第四节 原子结构基本概念和原子量	14
第五节 元素和元素符号	26
第六节 单质 化合物 混和物	30
第二章 分子结构和化合价	32
第一节 分子结构	32
第二节 分子式 分子量 化合价	46
第三节 化学方程式和有关的化学计算	60
第三章 空气 氧化还原反应 水和氢	78
第一节 空气	78
第二节 氧 氧化还原反应	82
第三节 水	95
第四节 氢	100
第四章 碱 酸 盐	106
第一节 碱	107
第二节 酸及金属活泼性顺序	114
第三节 氧化还原方程式的配平	134
第四节 盐	141

第五节	氧化物的分类	154
第五章	化学反应速度和化学平衡	158
第一节	化学反应速度	158
第二节	化学平衡	169
第六章	溶液	184
第一节	悬浊液 乳浊液和溶液的一般概念	184
第二节	饱和溶液和不饱和溶液	186
第三节	物质的溶解度	189
第四节	溶液的浓度	200
第五节	当量 当量定律及有关计算	210
第六节	几种溶液浓度之间的换算	226
第七章	电解质溶液	231
第一节	电离理论	231
第二节	弱电解质和强电解质	238
第三节	离子反应和离子方程式	245
第四节	水的电离和pH值	253
第五节	盐类的水解	256
第六节	电解	262
第八章	元素周期表	269
第一节	元素周期律	269
第二节	元素周期表	274
第三节	原子结构与周期律	279
第四节	元素周期表内元素性质的递变规律	282
第五节	元素周期表内主族元素氧化物性质 的递变规律	289
第六节	元素周期律的意义	291

第九章 重要的非金属元素及其化合物	293
第一节 卤素	293
第二节 硫及其化合物	300
第三节 氮和磷的重要化合物	306
第十章 金属通论	312
第一节 金属的物理性质和金属的结构	312
第二节 金属的化学性质	318
第三节 金属的腐蚀和防护	322
第四节 金属的存在和冶炼	331
第五节 合金	335
第六节 铁和钢	337
附录 I 国际原子量表 (1973)	342

第一章 物质 物质的变化和原子结构

第一节 物质和物质的变化

学习要求：

1. 认识世界是由运动着的物质组成的。
2. 掌握物理变化和化学变化的区别。

化学，是一门研究物质的组成、结构、性质及其变化规律的科学，是我们认识自然、利用自然和改造自然，为社会主义革命和社会主义建设服务的有力武器。

世界是由千千万万的物质组成的。在日常生活和工农业生产中，人们看到和接触到的都离不开物质。例如，水、空气、煤、石油、食盐、钢铁、化肥、农药、塑料等等都是物质。

在自然界里，所有物质永远都在不停地运动和变化着。因此，人们认识物质，就是认识物质的运动形式。物质的运动变化形式是多种多样的，下面我们着重介绍两种简单的物质变化形式。

自然界中的物质，按它们存在的状态，可以分为气态物质、液态物质和固态物质三类。例如，空气、水蒸气是气态

物质，叫做气体；水和油是液态物质，叫做液体；冰和食盐是固态物质，叫做固体。

物质的三种状态，在一定条件下是可以互相转变的。液体变成固体的现象叫做凝固，如，天冷的时候水凝固成冰。固体变成液体的现象叫做熔化，如，天暖的时候冰熔化成水。液体变成气体的现象叫做蒸发，如，水加热蒸发变成水蒸气。气体变成液体的现象叫做冷凝，如，水蒸气冷凝成水。水蒸气、水、冰虽然状态不同，但都是同一物质。又如，固态金属铁在 1535°C 时就熔化成液态，在 2735°C 时就变成气态。气、液、固三种状态的铁都是同一种物质。再如，铝可以拉成丝做电线，也可以制成铝板，铝电线和铝板虽然形状不同，但还是同一种物质。以上变化的共同点是，物质仅在状态或形状上发生了变化，而没有新物质生成，这类变化叫做物理变化。

物质还有一类变化与物理变化不同。例如，木炭燃烧生成了二氧化碳，二氧化碳已不再是木炭了。又如，铁在潮湿空气中生锈，铁锈已不再是铁了。以上变化的共同点是，生成了新物质，二氧化碳是木炭燃烧后生成的新物质，同样，铁锈就是铁变化后生成的新物质。物质发生变化后生成了新物质，这类变化叫做化学变化。化学变化也叫做化学反应，通常简称为反应。

在化学变化过程中常常发生一些现象，如发热、发光、变色、放出气体等等。这些现象可以帮助我们判断物质是否发生了化学变化。但在许多情况下，化学变化和物理变化往往同时存在，不能把它们截然分开。例如，把固体蜡放在容器中加热，蜡受热熔化变成液态，这是物理变化；继续加

热，温度逐渐升高则蜡燃烧，变成水蒸气和二氧化碳，又是化学变化。一般说来，在物质发生物理变化时不一定发生化学变化；但是在化学变化过程中，一定会发生物理变化。

习 题

1. 物理变化和化学变化有什么区别？举例说明。
2. 什么是化学反应？举例说明。
3. 下列变化哪些是物理变化？哪些是化学变化？为什么？
 - (1) 木炭燃烧；
 - (2) 木炭压成粉；
 - (3) 铁生锈；
 - (4) 土坯烧成砖；
 - (5) 泥做成坯。

第二节 物质的性质 化合反应 和分解反应

学习要求：

1. 认识什么是物质的物理性质和化学性质。
2. 掌握化合反应和分解反应的意义。

一、物质的性质

物质的性质，就是物质所具有的特征。例如颜色、气味、味道和状态等。人们从实践中认识了许多物质的性质。例如，空气是无色、无臭、无味的气体。水是无色、无臭、无味的液体。糖是甜的，食盐是咸的，铁能生锈，木能燃烧等等。

人们一般就是根据物质的性质来识别各种物质的，

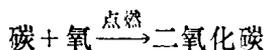
物质的有些性质，如状态、颜色、气味、味道等等，不需要物质发生化学变化就能表现出来，物质的这类性质，叫做物理性质。

物质的有些性质，要在发生化学变化的时候才表现出来，这类性质叫做化学性质。例如，铁能生锈，木炭能燃烧等，都是这些物质的化学性质。

二、化合反应和分解反应

我们在日常生活中经常遇到各种不同性质的物质。

氧气是人们熟悉的物质，它是一种性质活泼的气体，能与许多物质发生化学反应。例如，当焦炭在炉子里燃烧不旺时，可用扇子扇扇，使空气更加流通，火就着旺了。这是因为空气中有氧气，当空气畅通时，有更充足的氧气从炉中通过，焦炭在氧气充足的情况下，燃烧更加剧烈。焦炭在氧气中燃烧的化学反应可以用下面的式子表示：



这个反应是碳和空气里的氧气两种物质，反应后生成了一种新物质——二氧化碳。

这种由两种或两种以上的物质，变成一种新物质的反应，叫做化合反应。

在节日的时候，我们常看到五彩缤纷的气球上升到高空，这是因为在气球中充满了氢气。氢气具有比空气轻和可以燃烧的性质，在空气中含量极少。

纯净的氢气，能够在空气或氧气中安静地燃烧，但如果氢气与空气按一定比例混和后，点燃时就会发生爆炸。因

此，在处理氢气时要注意安全。制备氢气的装置，必须远离火焰。点燃氢气前，一定要检查氢气是否纯净。检查氢气纯度的简单方法，就是把氢气收集在一个小试管中，把试管的管口向下，移到酒精灯火焰上点燃，如果听到尖锐的爆鸣声，就说明氢气不纯，里面混有空气，应该继续收集、试验，直到不发生爆鸣为止，这时候收集的氢气才是纯净的。这种方法叫爆鸣法。

另一种人们最熟悉的物质就是水。水是分布最广的物质，约占地球表面的四分之三。

水在通直流电的条件下，能分解生成氢气和氧气。图1—1为通电使水分解的装置。如图所示，在盛有水的水槽里（为了增加水的导电能力，可在水里加少许硫酸）倒立两个注满水的试管，并将电极伸入试管中，然后将电极分别与直流电源的正、负极接通，电极上就产生气泡，聚集在两

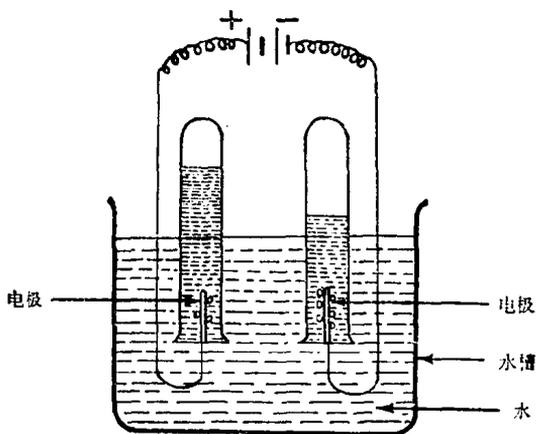
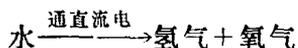


图 1—1 通电使水分解的装置

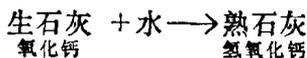
个试管上部，经过一段时间可以看到，聚集在一个试管的气体体积，是另一个试管里气体体积的两倍。将试管取出，用带有火星的木条伸进气体量少的试管中，木条就立即燃烧，证明是氧气。然后用燃着的木条伸进气体量多的试管中，有爆鸣声，证明是氢气。

通电使水分解的反应可用下式表示：

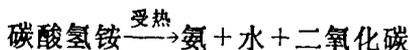


这种由一种物质变成两种或两种以上新物质的反应，叫做分解反应。

化学反应的类型很多，化合反应和分解反应在日常生活中经常遇到。例如，人们在长期生产实践中认识到，当把水浇到生石灰（化学名称叫氧化钙）上时，可以看到，起初水被生石灰吸收，不久就剧烈地发热，使一部分水变成水蒸气冒了出来，同时大块的生石灰开始松散开来，变成白色粉末状熟石灰（化学名称叫氢氧化钙）。这个化学反应是化合反应，是生石灰和水两种物质，反应后生成了一种不同于生石灰和水的新物质——熟石灰。这个反应可以用下面的式子表示：



又如，碳酸氢铵化肥受热分解生成氨、水和二氧化碳。这个分解反应可用下式表示：



在化学反应里，化合反应和分解反应是完全相反的两个

过程。可是，在一定的条件下，它们又可以相互转化。例如，水通直流电可分解成氢气和氧气，而氢气在氧气中燃烧又能跟氧气化合成水。

习 题

1. 物质的物理性质和化学性质有什么区别？
2. 你根据哪些性质来辨别下列的物质：
(1) 水和煤油； (2) 白糖和面粉。
3. 处理氢气时要注意哪些事项？点燃氢气前为什么要检查氢气的纯度？怎样检查氢气的纯度？
4. 什么叫化合反应？什么叫分解反应？举例说明。

第三节 分子和原子

学习要求：

1. 掌握分子、原子的概念。
2. 认识化学反应的实质。

我们已经学习了物质的性质，知道了氧气、氢气和水都有不同性质，但是要知道物质为什么会有不同的性质，必须研究物质的内部结构，帮助我们逐步认识这个问题。

唯物辩证法认为，一切事物都是一分为二的。世界是物质的。一切物质都可以分成微小的颗粒——分子，分子可以分成更小的颗粒——原子，原子还可以再分，而且可以无限地分下去。那种把原子看成孤立的、静止的、不可分割的形而上学的观点是错误的。为了能形象地理解物质与组成物

质的微粒之间的关系，可以打个比方。我们知道，墙是由一块一块的砖砌成的，砖又是用土坯烧成的，土坯是由泥做的，泥是由微小的土颗粒和水调和起来的。土颗粒和高大的砖墙来比那是太小了，但它却是组成砖墙的原料。与此相仿，物质都是由许多微小的颗粒组成的，由于微粒的种类和结合方式等不同，可以组成各种不同的物质。下面我们就讨论各种物质都是由什么种类的微粒组成和如何组成的等问题。

一、分子

人们经过长期生产实践和科学实验证明：物质是由许许多多肉眼看不见的极小微粒构成的，人们把能够独立存在并保持原物质化学性质的最小微粒叫做分子。例如，氧气是由氧分子组成的，水是由水分子组成的，氨是由氨分子组成的，生石灰是由氧化钙分子组成的等等。我们知道，生石灰有与水作用生成熟石灰的性质，这就是因为氧化钙分子都具有这种性质的缘故。同种物质的分子的性质都相同，不同种物质的分子的性质不相同，所以由不同种类分子组成的物质的性质也就不同。例如，氧分子和氧分子的性质相同，氧分子和氨分子的性质不相同，所以氧和氨的性质也不相同。

组成物质的分子都在不停地运动着。如社员在地里浇氨水，我们在较远的地方就闻到氨的气味，这就是因为，不断分散到空气里的氨分子，进入我们的鼻孔，使我们闻到了氨的气味。湿衣服能晾干，就是由于水分子在运动时离开了衣服飞散到空气里去了。这些现象既说明了物质是可分的，分子是客观存在的，也说明了组成物质的分子都在不停地运动着。

分子的重量和体积都非常小。例如，水分子的重量大约是0.000,000,000,000,000,000,03克（即 3×10^{-23} 克），它的直径大约是0.000,000,028厘米（即 2.8Å ①）。由于科学技术的发展，人们已经用电子显微镜拍摄了蛋白质分子的照片。

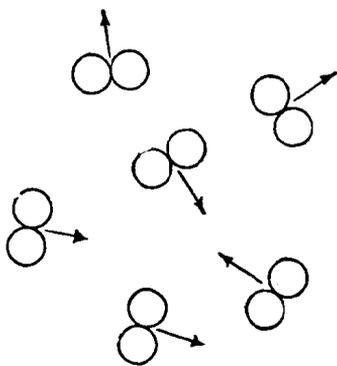
二、原子和化学反应的实质

我们已经知道，水在通直流电的条件下，可以分解成氢气和氧气。这个现象说明，水分子是可分的。在反应过程中，水分子分解成了两种微粒，再由这两种微粒分别组合成氢气和氧气。这也就是说，在反应过程中，水分子分解了，水分子分解成的两种微粒却不再分了，它们是参加反应的最小微粒。人们把物质参加化学反应的最小微粒叫做原子。由实验得知，水分子分解成的两种微粒，是氢原子和氧原子。最近人们已用电子显微镜拍摄了原子的照片。

通过科学实验人们已经知道，一个氢分子是由两个氢原子构成的，许许多多氢分子构成氢气；一个氧分子是由两个氧原子构成的，许许多多氧分子构成氧气（见图1—2）；一个二氧化碳分子是由两个氧原子和一个碳原子构成的，许许多多二氧化碳分子构成二氧化碳气（见图1—3）；一个水分子是由两个氢原子和一个氧原子构成的，许许多多的水分子构成水。

我们知道，若把水放在一个敞口容器中，水就会逐渐蒸发减少，直到干涸，这是因为水分子离开了液体，飞散到空气里去了。那为什么水不会同时全部变成水蒸气呢？原来分

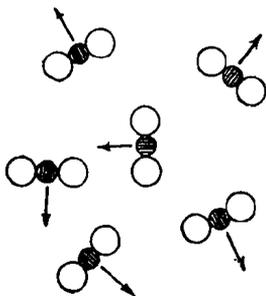
① Å （音埃）， $1\text{Å} = 10^{-8}$ 厘米。



○ 代表氧原子

○○ 代表氧分子

图 1—2 氧气是由两个氧原子相结合成的氧分子组成的



○ 代表氧原子 ● 代表碳原子

○●○ 代表二氧化碳分子

图 1—3 二氧化碳气体是由两个氧原子和一个碳原子构成的二氧化碳分子组成的

子之间存在着引力，只有那些运动很快的分子，才能首先挣脱其他分子的吸引，而逸出液面。水变为蒸气或凝结成冰，分子数量没有改变，但它的体积却有很大变化。这个事实，说明了水分子间有一定的间隔，而在气态、液态和固态下，分子间的间隔是不相同的。

组成气体的粒子（如氧分子、二氧化碳分子）之间的距离较远，吸引力小，能够向各个方向移动，所以气体没有一定的体积、形状，能均匀地充满它所占的容器。

组成液体的粒子（如水分子）之间的距离，较气体里的

粒子间的距离近，吸引力大，但这种吸引力，还没有达到能使粒子保持在一定的位置上，所以液体和气体不同，液体虽有一定的体积，但没有一定的形状，它的形状跟着容器的形状而变化。

组成固体物质的粒子之间距离很近，吸引力强，使这些粒子只能在一定平衡位置的附近振动，而不能移动，所以固体和液体、气体不同，它既有一定的体积，又有一定的形状。对于具有一定几何形状的固体，叫做晶体。例如，我们常能从粗食盐中，看到一些具有立方体形状的盐粒，它们就是食盐晶体。

上面列举的氧气、二氧化碳气和水的例子，都是由两个或多个原子形成分子，由许许多多分子构成物质的。但也有物质是由原子直接构成的。例如割玻璃用的硬度很大的金刚石，就是由碳原子相互作用直接构成的。图 1—4 表明了金刚石的晶体结构。

在金刚石晶体中，每个碳原子四周，对称地分布着四个碳原子，组成正四面体。显然，由碳原子直接构成的金刚石晶体中，没有分子存在，整个晶体可以看作是一个大的分子。一般金属都有晶体结构，整个金属晶体也可以看作是一个大的分子。^①

另外，空气里还含有一类性质不活泼的气体，叫做惰性气体，它们是一个原子构成一个分子，所以叫做单原子分子。金属的蒸气分子一般也是单原子的。

下面我们用原子——分子的概念，来讨论化学反应的实

① 参看第十章第一节。

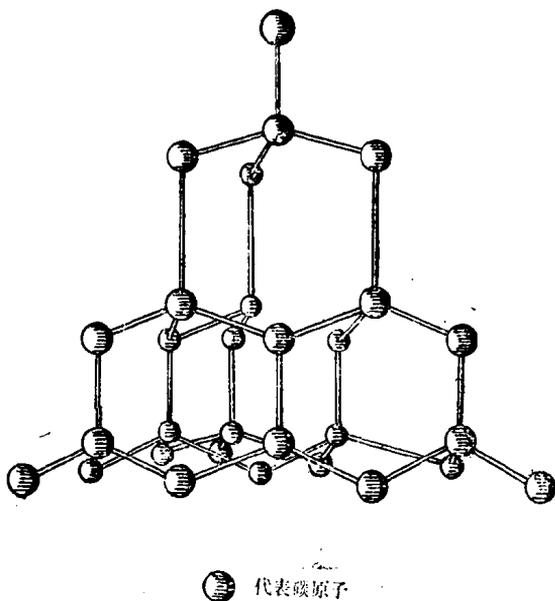
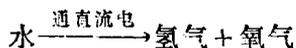


图 1-4 金刚石的晶体结构

质。

前面已经讲过，水在通直流电的条件下，可以分解成氢气和氧气。这个分解反应可以用下面的式子表示：



又知水分子是由两个氢原子和一个氧原子构成的，氧分子是由两个氧原子构成的，氢分子是由两个氢原子构成的。水分解的反应可以用下面的图解（见图 1-5）表示：

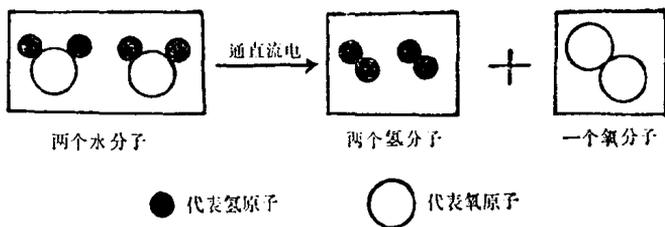


图 1—5 水分子分解成氢分子和氧分子的图解

在水的分解反应里，原来的水分子分解了。两个水分子分解成了四个氢原子和两个氧原子，所生成的四个氢原子重新组合成两个氢分子；两个氧原子重新组合成一个氧分子。由上图可以看出，在反应里水分子发生了变化，变成了氢分子和氧分子。但在反应里，无论是氢原子或是氧原子，它们本身都没有再分，它们是进行化学反应的基本微粒，在反应里，它们只是发生了重新组合，由原来反应前的两个氢原子和一个氧原子的组合（此种组合为水分子），变成了两个氢原子的组合（氢分子）和两个氧原子的组合（氧分子）。由此可以看出：原子是物质参加化学反应的最小微粒，化学反应，实质上是参加反应的那些物质的分子里的原子，重新组合成别的物质的分子的过程。

所以，在化学反应中，一种原子不能变成另一种原子，而是参加反应的物质的分子起了变化，原子进行重新组合，变成了别的物质的分子。

习 题

1. 原子和分子有什么不同？它们的关系如何？举例说明。
2. 用原子、分子的概念解释化学反应的实质。

3. 说明组成下列物质的一个分子的原子名称和数目：
(1) 氧分子；(2) 氢分子；(3) 水分子；(4) 二氧化碳分子。
4. 解释下列名词：
(1) 晶体；(2) 单原子分子。
5. 举出几个实例，说明分子在不断地运动和分子之间有相当间隔。

第四节 原子结构基本概念和原子量

学习要求：

1. 认识原子和原子核的组成，明确同位素、“碳单位”和原子量的意义。
2. 能用辩证唯物主义观点说明原子的无限可分性。
3. 了解原子的核外电子是如何按能量大小分层排布的。
4. 掌握每个电子层上所能容纳电子数目的一般规律。
5. 认识电子层饱和与原子的稳定结构的含意，并能举例说明。

一、原子和原子核的组成

物质的不同性质，是由物质内部的矛盾性所决定的。为了认识物质有不同性质的原因，我们首先研究原子的内部结构。

我们知道，原子是物质参加化学反应的最小微粒，也就

是说，在化学反应的过程中，原子不能再分，但在核反应^①的条件下，原子还是可以分的。近代科学实验证明，原子是由带正电荷的原子核和带负电荷的电子两部分构成的。电子所带的电荷，是能够存在的最小的电荷，叫做单位电荷^②。

一切带电体所带的电荷，都是单位电荷的整倍数。一个电子带一个单位负电荷。原子核带正电荷，位于原子的中心，占很小很小的体积。原子核所带的正电荷叫做核电荷。原子核外有电子绕核高速运转。原子核所带的正电荷数与原子核外电子所带的负电荷数相等，所以整个原子不显电性（或电中性）。例如氢原子的原子核带有一个正电荷，原子核外有一个电子绕核运转。图 1—6 是氢的原子结构示意图。

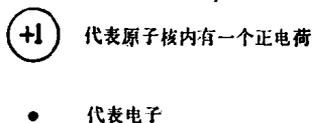
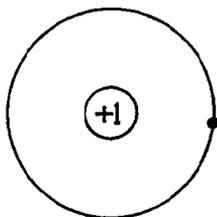


图 1—6 氢原子结构示意图

原子是很小的微粒，从实验测得，原子的直径约为 10^{-8} 厘米 ($\frac{1}{10^8}$ 厘米)。电子的直径约为 10^{-13} 厘米。原子核的直径约为 $10^{-14} \sim 10^{-12}$ 厘米。如果把原子设想为一个直径为 10 米的大球，那么原子核不过只有针尖那样小。

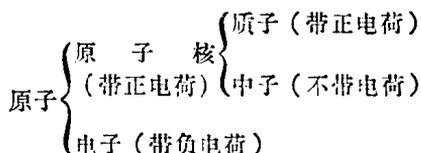
不仅原子是可分的，原子核也是可分的。涉及原子核变

① 原子是由一个原子核和核外电子所组成，涉及原子核变化的反应，叫做核反应。

② 每个单位电荷等于 1.60×10^{-19} 库仑或 4.8×10^{-10} 绝对静电单位。

化的反应，叫做核反应。核反应放出的大量能，叫做原子能。近代核反应的广泛应用，就是原子核可分的有力证明。科学实验还证明，原子核是由带正电荷的质子和不带电的中子组成的。一个质子带一个单位正电荷，原子核所带的正电荷数等于质子数。

总结起来，原子和原子核的组成可概括如下：



原子的核电荷数（原子核中的质子数）= 原子核外的电子数

不仅原子可分，质子、中子、电子也是可分的。任何物质都是无限可分的。随着科学的发展，人类对于原子结构的认识，将逐步深化，日趋完善。

由上看出：原子是一个矛盾的统一体，一方面带正电的原子核要吸引带负电的电子，这是主要的吸引因素。另一方面，电子具有一定的能量，它在核外以高速运动来对抗核的吸引，这是主要的排斥因素。由于排斥因素的存在，使电子不被原子核吸引进去；由于吸引因素的存在，又使电子不会自动离开原子核而逸出。原子就是原子核与核外电子这样既对立又统一的对立统一体。

二、同位素和原子量

原子核是由质子和中子构成的，从原子核的结构来看，人们已经知道，组成碳的原子核不是一种，这些不同的碳原子核中，都有六个质子，但中子数不相同。例如，自然界的碳中，就有含六个中子和七个中子的两种碳原子核，分别记

作碳-12、碳-13（碳后面的数字，指原子核中质子数与中子数的总和）。人们将质子数相同，而中子数不相同的同种原子（即核电荷数相同的原子），叫做同位素。例如，碳-12、碳-13，即为碳的两种同位素。

物质是有重量^①的，所以原子也有一定的重量。从原子的组成看，电子的重量极小，约为质子重量的 $\frac{1}{1840}$ ，因此原子的重量，几乎都集中在原子核上。由于原子很小，它的重量也非常小，例如：

一个氢原子的重量是：

0.000,000,000,000,000,000,000,00167克

一个碳-12原子的重量是：

0.000,000,000,000,000,000,000,01992克

这样小的数字，记忆和计算都很不方便。因此，现在科学上采用碳-12原子重量的 $\frac{1}{12}$ ，作为原子量的重量单位，这种单位叫做“碳单位”。用“碳单位”来表示的一个原子的重量，叫做原子量。

在实际应用原子量时，常把“碳单位”三个字省略不写。如氢的原子量是1.0079，碳的原子量是12.011。

各种原子的精确原子量，可由附录 I 国际原子量表查出。在一般化学计算中，原子量的数值只取四位数字就够了。

我们知道，原子量是以碳-12作标准的，那么碳的原子量为什么不是整数12而是12.011呢？这是因为，自然界中的碳含有碳-12和碳-13两种同位素，它们所占的百分比分别为98.89%和1.11%，所以碳的平均原子量为：

① 确切地应该用质量。

$$12 \times 98.89\% + 13 \times 1.11\% = 11.867 + 0.144 = 12.011$$

前面所说的碳的原子量是12.011，就是碳-12和碳-13的平均原子量。

三、原子核外电子的排布

原子是由原子核和核外电子组成的，电子在原子核外高速运转。这些高速运转的电子，在原子核外如何排布呢？科学实验证明，在原子核外高速运转的电子，是按能量大小分层排布的。原子核外电子的排布直接影响着物质的性质。

为了学习方便起见，我们可以用简单平面示意图，来表示原子核外电子的分布情况。

图 1—7 列出了核电荷数为 1—18 的氢、氦、锂等原子结构示意图。

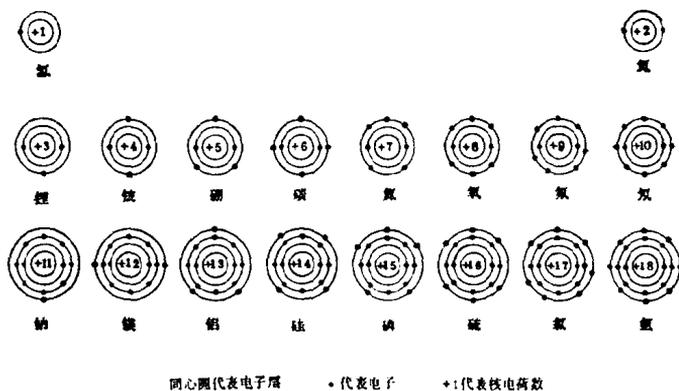


图 1—7 核电荷数为 1—18 的氢、氦、锂等原子结构示意图①

① 这些示意图，仅仅表示原子核里的电子分层排布的情况，绝不表示核和电子的大小，也不表示电子与核的距离和电子绕核运转的真实情况。

在原子核外高速运转的电子，是按能量大小分层排布的。离核最近的电子层叫做第一电子层，沿着这个电子层绕转的电子具有最低的能量。离核稍远的电子层为第二电子层，再远的为第三电子层。沿着离核较近的电子层绕转的电子，具有较低的能量。沿着离核较远的电子层绕转的电子，具有较高的能量。电子层数是决定电子能量的主要因素^①。原子内具有最低能量的电子最稳定。电子总是尽先排布在能量最低的电子层上。当从外面向原子输送能量时，电子吸收能量从离核较近的电子层跳到离核较远的电子层上去。反之，当电子从离核较远的电子层跳到离核较近的电子层时，则有能量的放出。

下面具体讨论核电荷数为1—18的氢、氦、锂等原子的核外电子排布情况（见图1—7）。

氢原子的结构最简单，它的核电荷数为1（核内有一个质子），核外有一个电子，这一个电子，排布在离核最近的第一电子层上，也就是说，这一个电子沿着离核最近的电子层绕转。

氦原子的核电荷数为2（核内有两个质子），核外有两个电子，这两个电子都排布在离核最近的第一电子层上。

锂原子的核电荷数为3（核内有三个质子），核外有三个电子，第一电子层上排布着两个电子，第二电子层上排布着一个电子，或者说，有两个电子沿着离核最近的电子层绕转，还有一个电子沿着离核较远的第二电子层绕转，原子核对这个电子的吸引力，要比对前两个电子的吸引力弱得多。

^① 核外电子数目多的原子，电子排布非常复杂，在此不作讨论。

对锂原子来说，第二电子层就是它的最外电子层。

从锂到铍，铍到硼，核电荷数依次增加，如，铍的原子核比锂的原子核多一个核电荷，第二电子层（也就是最外电子层）上也就增加了一个电子。依此顺序增加，一直到第二电子层（最外电子层）满八个电子为止，第二电子层满八个电子的原子就是惰性气体氖。

接在氖后面的是钠，钠原子的核电荷数为11（核内有十一个质子），它有两个和氖相同的电子层，第一电子层上有两个电子，第二电子层上有八个电子。余下的一个电子排布在离核较远的第三电子层上。因此，从钠开始出现了第三电子层，对钠来说，第三电子层就是它的最外电子层。

从钠到镁，镁到铝，核电荷数也依次增加，如，镁的原子核比钠的原子核多一个核电荷，第三电子层（也就是最外电子层）上也就增加了一个电子。依此顺序增加，一直到第三电子层（最外电子层）满八个电子为止。这个第三电子层（最外电子层）满八个电子的原子，又是一种惰性气体，叫做氩^①。

在每个电子层上所能容纳的电子数目，根据近代原子结构理论，一般有着下面的规律：

1. 每一个电子层上最多能容纳电子的数目是一定的。若电子层数为 n ，每一层上最多能容纳的电子数目为 $2n^2$ 个^②（即电子层数平方的两倍）。如：

第一层($n=1$)，最多容纳 $2 \times 1^2 = 2 \times 1 \times 1 = 2$ 个电子；

① 核电荷数愈多，核外电子的排布情况愈复杂，不能按上述的排布类推。

② 电子层上最多能容纳的电子数目没有超过32个的。

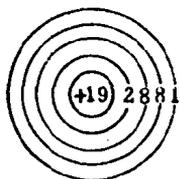
第二层($n=2$), 最多容纳 $2 \times 2^2 = 2 \times 2 \times 2 = 8$ 个电子;

第三层($n=3$), 最多容纳 $2 \times 3^2 = 2 \times 3 \times 3 = 18$ 个电子;

等等。

2. 如果电子层上的电子数目, 已经达到这个电子层最多可容纳的电子数目时, 这个电子层就叫做饱和层。例如: 第一电子层上有两个电子叫做饱和层; 第二电子层上有八个电子叫做饱和层, 第三电子层上有十八个电子叫做饱和层等等。

3. 不论有多少电子层, 最外电子层上最多只能容纳八个电子(只有第一电子层不能超过两个电子), 次外电子层上不得超过十八个电子。例如, 核电荷数为19的钾原子, 核外有十九个电子, 但因为最外电子层上最多只能容纳八个电子, 所以钾原子的结构只能是图1—8中(1)的结构, 而不能是(2)的结构。



(1) 正确



(2) 不正确

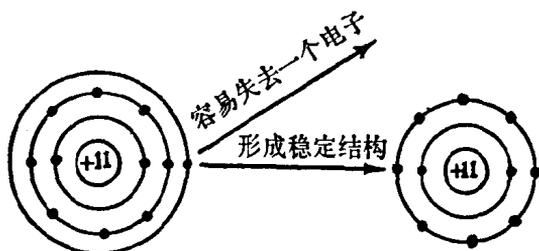
图 1—8

(上图中各同心圆上的数字, 表示各电子层上的电子数目)。

4. 当原子的最外电子层上达到八个(第一电子层是达到两个, 如氦)电子时, 成为惰性气体原子的电子层结构。具有这种结构的原子, 性质不活泼, 不易发生化学反应。我们把这种“八电子结构”称为稳定结构。尚未达到稳定结构的原

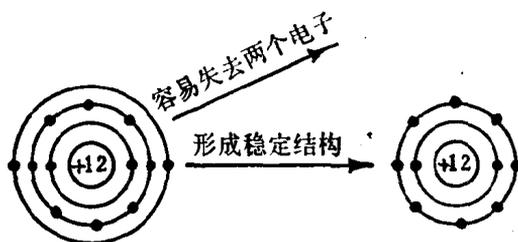
子,都有得到或失去电子达到稳定结构的倾向.一般说来,在化学反应中,原子的最外电子层上的电子数较少(1~3个)时,这些电子就容易失去,使该原子具有了八个电子的稳定结构.若原子的最外电子层上的电子数目较多(5~7个)时,就容易获得电子,也使该原子成为最外层为八个电子的稳定结构^①.

例如:从图1-7可知,钠原子和镁原子最外电子层上分别有一个和两个电子,它们都容易失去电子形成稳定结构(见图1-9、1-10).



钠原子

图 1-9 钠原子失去电子形成稳定结构



镁原子

图 1-10 镁原子失去电子形成稳定结构

^① 原子失去电子或与电子结合的难易,主要决定于原子的核电荷的多少,原子半径的大小,以及原子的电子层结构(特别是最外层的电子数目)。

又如从图 1—7 可知，氧原子和氯原子最外电子层上分别有六个和七个电子，它们都容易获得电子形成稳定结构（见图 1—11、1—12）。

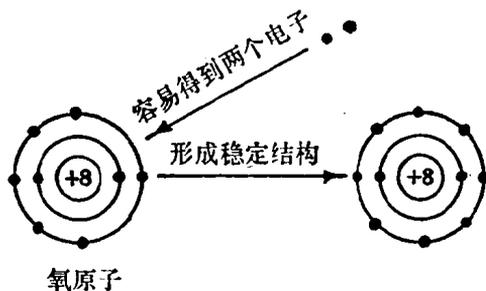


图 1—11 氧原子得到电子形成稳定结构

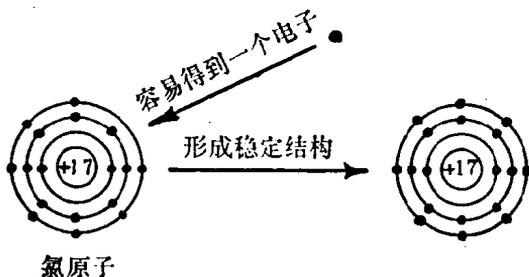


图 1—12 氯原子得到电子形成稳定结构

从以上可以看出：对元素（参看第一章第五节）化学性质产生主要影响的是该元素原子的最外层的电子，次外层电子的影响就小得多。另外，核电荷数不同，形成了不同的原子，不同种类的原子的性质也是不相同的，这一事实是自然界发展总规律——量变到质变规律的有力证明。

物质的不同性质，是由物质内部的矛盾性所决定的。我

们讨论了原子的内部矛盾性，它将有助于我们从本质上认识和理解化学变化的规律。

四、电子云的初步概念*

电子在原子核外运动的情况是复杂的。对于象电子、原子、分子等微粒子的运动规律，不能用经典力学（牛顿力学）来描述。研究电子、原子、分子等微粒子的运动的科学，叫量子力学。要说明量子力学的要点，需要用到较高深的数学，下面只简略说明用量子力学来描述原子内电子运动情况所得的某些结果。

极小的电子绕原子核高速运动，和普通物体的运动有着不同的特点。电子的运动同时具有微粒的性质（具有质量和速度）和波动的性质（具有一定的波长）。对于同时具有微粒和波动双重特性的电子来说，不能象描述普通物体的运动那样，肯定它在某一瞬间处于空间的某一位置，而只能指出电子在原子核外空间某个区域里出现的几率（或机会）的大小。电子在原子核外空间各区域出现的几率是不同的，在一定时间内，在某些地方出现的几率较大，而在另一些地方出现的几率较小。如果用小黑点的多少来表示电子在原子核外各处出现几率的大小，那么黑点多的地方，就是电子出现几率大的地方，黑点少的地方，就是电子出现几率小的地方。用这样的方法来描述电子在原子核外空间出现的几率分布，叫电子云。电子云是一种形象的说法，因为电子运动的速度极快，而且运动的空间是立体的，好象在原子核外面笼罩着带负电的云一样，电子最常出现的地方，就是电子云密度最

* 表示这部分内容可作参考材料。

大的地方。图 1—13 表示出了氢原子外只有一个电子的电子云。氢原子的电子云象球形，图中黑点比较密的区域，表示电子云的密度较大，也就是氢原子核外电子最常出现的区域。这个区域是一个以核为中心，半径为 0.53 \AA 的球壳，也就是说，在正常状况下，氢原子中的电子在以半径为 0.53 \AA 的球壳处出现的几率最大，而在半径小于或大于 0.53 \AA 的球壳上虽然也可能出现，但出现的几率较小。

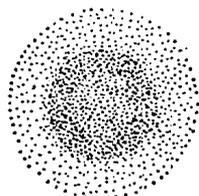


图 1—13
氢原子的电子云

习 题

1. 解释下列名词：同位素；碳单位；原子量。
2. 运用辩证唯物主义的观点，说明物质的无限可分性。
3. 在原子内部，原子核和核外电子都是带电的微粒，但是为什么原子不显电性？
4. 原子核外的电子是怎样排布的？举例说明。
5. 原子核外的每一个电子层上，最多能容纳的电子数目与电子层数有何关系？举例说明。
6. 已知镁、硫两种原子的核电荷数分别为 12 和 16，画出这两种原子的结构示意图，并根据它们的原子结构，判断它们易失去电子还是易获得电子。

第五节 元素和元素符号

学习要求：

1. 了解元素和元素符号的意义。
2. 熟记并能正确写出常用元素的符号。

一、元素

在自然界里有着成千成万种性质不同的物质，但是构成这些物质的原子种类却并不很多。例如氧气分子里有氧原子，水分子里有氧原子，二氧化碳分子里有氧原子，生石灰（氧化钙）里也有氧原子等等。不论这些氧原子存在于什么物质的分子中，这些氧原子都具有相同的核电荷数8。我们把具有相同核电荷数的一类原子叫做元素。或者说，元素是同种类原子的总称。例如上述存在于不同物质中的氧原子，总称氧元素。因此，我们可以说氧气是由氧元素组成的，水是由氢元素和氧元素组成的。

现在已经发现了107种元素（107号的合成尚有不同意见），从图1—14可以看出，地壳（包括水和大气）主要是由氧、硅、铝、铁、钙等元素组成的。含量最多的元素是氧，其次为硅。

根据元素的性质，元素分为金属和非金属两大类。从物理性质来说，金属一般具有金属光泽、导电性、导热性以及可塑性、延展性。非金属一般不具备这些性质。从原子结构观点来看，绝大多数金属原子，最外电子层上的电子数都在

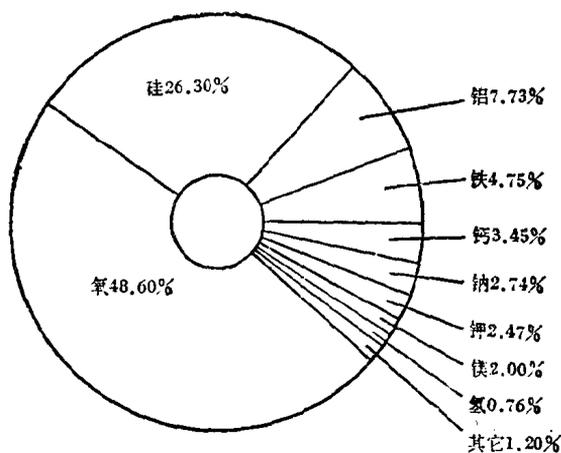


图 1—14 地壳里所含各种元素的重量百分比

三个以下，在化学反应时，容易失去电子而达到稳定结构。例如钠、镁等都是金属。非金属原子最外电子层上的电子数目较多（例如氧、氯等），在起化学反应时，虽然也能失去电子，但是它们却更容易和外来电子结合，而达到稳定结构。原子中最外电子层上的电子数目愈多，便愈容易和外来电子结合。

有许多元素具有非常显著的金属性质或非金属性质，但是也有许多元素的性质既象金属，又象非金属。例如，锑是金属，有金属光泽，但又有不易导电的特性；砷是非金属，但具有金属光泽和导热、导电的特性。由此可以看出，把元素分成金属和非金属并不是绝对的，因为它们之间没有严格的界限。在划分金属和非金属时，乃是根据它们所表现的金属性和非金属性究竟那一种更显著些。

金属元素在常温下都是固态（汞又名水银，为液态），它们的中文名称都带“钅”旁，例如铁、铜、锡、铝、锌等。非金属元素在常温下有固态的，也有液态和气态的。常温下是固态的非金属元素，中文名称带“石”字旁，如碳、硫、磷等；常温下是液态的非金属元素，中文名称带“氵”旁，如溴；常温下是气态的非金属元素，中文名称带“气”字头，例如氢、氧等。

二、元素符号

为了应用方便起见，在化学上，各种元素都用一定的符号来表示。例如氧元素用符号“O”表示，氢元素用“H”表示，铁元素用“Fe”表示，这些符号叫做元素符号。

书写元素符号时应该注意：如果元素的符号只有一个字母，这个字母必须大写。例如，“H”代表氢元素，“N”代表氮元素等。如果元素符号是由两个字母组成的，则第一个字母必须大写，第二个字母必须小写。例如锌元素符号“Zn”不能写成“ZN”；铁元素符号“Fe”不能写成“FE”。又如，“Co”表示钴原子，如果写成“CO”就错了，因为“CO”表示一氧化碳分子。

元素符号可以表示以下三种意义：

- (1) 表示一种元素；
- (2) 表示这种元素的一个原子；
- (3) 表示这种元素的原子量。

例如：元素符号“O”既表示氧元素，也表示一个氧原子和氧的原子量。

表1—1列出了一些常用元素的名称、符号和原子量（取四位数字）。

常用的元素符号应该熟记。

表 1—1 常用元素的名称、符号和原子量表

名称	符号	原子量	名称	符号	原子量	名称	符号	原子量
铝	Al	26.98	铁	Fe	55.85	氧	O	16.00
银	Ag	107.9	氢	H	1.008	镍	Ni	58.70
钡	Ba	137.3	汞	Hg	200.6	磷	P	30.97
溴	Br	79.90	碘	I	126.9	铅	Pb	207.2
碳	C	12.01	钾	K	39.10	硫	S	32.06
钙	Ca	40.08	锂	Li	6.941	硅	Si	28.09
氯	Cl	35.45	镁	Mg	24.31	锡	Sn	118.7
铬	Cr	52.00	锰	Mn	54.94	锌	Zn	65.38
铜	Cu	63.55	氮	N	14.01			
氟	F	19.00	钠	Na	22.99			

表 1—2 列出了核电荷数为 1~20 的各元素原子的电子层中的电子数目。

表 1—2

原子核 电 荷 数	元素名称	元素符号	各电子层中的电子数目			
			1	2	3	4
1	氢	H	1			
2	氦	He	2			
3	锂	Li	2	1		
4	铍	Be	2	2		
5	硼	B	2	3		
6	碳	C	2	4		
7	氮	N	2	5		
8	氧	O	2	6		
9	氟	F	2	7		
10	氖	Ne	2	8		
11	钠	Na	2	8	1	
12	镁	Mg	2	8	2	
13	铝	Al	2	8	3	
14	硅	Si	2	8	4	
15	磷	P	2	8	5	
16	硫	S	2	8	6	
17	氯	Cl	2	8	7	
18	氩	Ar	2	8	8	
19	钾	K	2	8	8	1
20	钙	Ca	2	8	8	2

习 题

1. 什么叫元素？说明元素符号“N”所表示的意义。
2. 从原子结构观点来说明金属和非金属的性质。
3. 默写下列元素的符号：
氢、氧、氯、钠、铁、铜、碳、硫、锌、铝。
4. 把下列写错误的元素符号更改正确：
(1) 锌(ZN)；(2) 铁(Fe)；(3) 钡(BA)；
(4) 钠(nA)；(5) 锰(mn)；(6) 氮(n)。

第六节 单质 化合物 混和物

学习要求：

明确单质、化合物、混和物的意义。

自然界中的物质有的组成比较简单，有的组成比较复杂。凡物质的分子是由同种元素的原子组成的，这种物质叫做单质。例如，氧气、氢气、铁和碳等。凡物质的分子是由不同种元素的原子组成的，这种物质叫做化合物。例如，水、硫酸和氢氧化钠等。

自然界里的元素，有时以单质的状态存在，有时以化合物的状态存在。元素以单质存在的状态，叫做游离态；元素以化合物存在的状态，叫做化合态。氧气是游离态的氧元素，二氧化碳中的氧是化合态的氧元素。

我们在日常生活中接触到的物质，还分为纯净物与混和物。我们把由一种单质或一种化合物组成的物质，叫做纯净

物质。由两种或两种以上的不同物质（单质或化合物）混和在一起组成的物质，叫做混和物。组成混和物的各物质，在混和物中仍然各自保持着原来的性质。例如，我们知道铁粉能被磁铁吸引，若把铁粉和硫黄粉相混和组成混和物，用肉眼从外表上几乎分辨不出哪是铁或硫黄的小颗粒，但用磁铁吸引，铁粉和硫黄粉就完全可以分开，这说明铁粉和硫黄粉在混和物里，仍然保持着它们原来的性质。

习 题

1. 什么是单质？什么是化合物？举例说明。
2. 什么是纯净物质？什么是混和物？举例说明。

第二章 分子结构和化合价

第一节 分子结构

学习要求：

1. 认识原子与离子的区别，并能正确写出表示正、负离子的符号。
2. 明确化学键的意义，并能举例说明化学键的主要类型。
3. 了解“根”、离子化合物和共价化合物的意义。
4. 了解极性分子和非极性分子的意义，以及键的极性和分子的极性的关系。

分子是由原子组成的，原子究竟怎样结合成分子的呢？下面就来讨论这个问题。

一、化学键

我们知道，分子是保持原物质化学性质的最小颗粒。当构成分子的原子的种类、数目、在空间位置的排列和相互作用的性质不同时，所形成物质的性质也不相同。因此，要掌握物质的性质和化学变化的规律，还必须了解原子间是如何

相互作用结合成分子的，以及分子结构和物质性质的关系。

各种元素的原子相互结合成分子时，不仅原子数目之间有一定的比例，而且原子间存在着强烈的相互作用。在化学上，将分子（或晶体）里直接相联结的原子（或离子）^①之间产生结合的强烈的相互作用叫做化学键。

当原子结合成分子时，原子核并不发生变化，只是原子外层的电子进行了重新排布。因此，化学键在本质上仍然是电性的。对于分子来说，异种电荷的相互吸引和同种电荷的相互排斥，就是分子中的基本矛盾。由于各种原子的电子层结构不同，所以原子间互相作用形成分子时的吸引和排斥情况也各不相同，形成化学键的类型也就不同。例如，我们知道，金属无论在固态或液态时，都能导电；食盐在固态时不导电，只在熔化后才能导电；而糖无论在固态或液态下都不导电。物质所呈现的不同导电情况，正是物质内部粒子间化学键不相同的外部反映。下面我们着重介绍两种^②化学键——离子键和共价键。

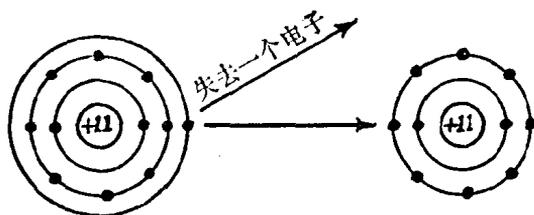
1. 离子键

我们知道，钠原子和氯原子本来都是不显电性的。从它们的原子结构来看（见图1—7），钠原子的最外电子层上有一个电子，这个电子容易失去，形成八个电子的稳定结构，同时带上了一个单位正电荷。这是因为，当钠原子失去一个电子后，核电荷未改变，而核外电子只剩下十个，这样正电荷就比负电荷多了一个，所以钠原子失去一个电子后就带上了一个正电荷，如图2—1所示。氯原子的最外电子层

① 参看第34页。

② 金属键在第十章第一节讲述。

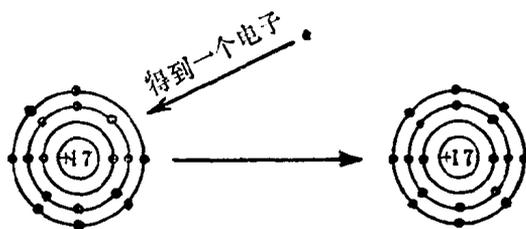
上有七个电子，容易得到一个电子形成八个电子的稳定结构，同时带上了一个单位负电荷。这是因为，当氯原子得到一个电子后，核外成了十八个电子，而核电荷数未改变，这样负电荷就比正电荷多了一个，所以氯原子得到一个电子后就带上了一个负电荷，如图 2—2 所示。这种由原子获得或失去电子而形成的带电微粒叫做离子。带正电荷的离子叫做正离子（或阳离子），用元素符号右上角加“+”表示，例如“ Na^+ ”表示钠离子。带负电荷的离子叫做负离子（或阴离子），用元素符号右上角加“-”表示，例如“ Cl^- ”表示氯离子。



Na 钠原子（电中性）

Na^+ 钠离子（带一个正电荷）

图 2—1 钠原子失去一个电子形成钠离子



Cl 氯原子（电中性）

Cl^- 氯离子（带一个负电荷）

图 2—2 氯原子得到一个电子形成氯离子

子。正、负号的数目代表离子所带正、负电荷的数目。如，带两个正电荷的镁离子可以用“ Mg^{2+} ”表示；带两个负电荷的氧离子可以用“ O^{2-} ”表示。原子失去（或获得）的电子数目，就是形成的离子所带的正（或负）电荷数。

上面分析了钠和氯的原子结构情况。下面分析在一定条件下，钠原子与氯原子相遇时的情况。例如，在一只铺有细沙的燃烧匙中，放上一小块金属钠（因钠性质活泼，一般存放在煤油中，取用时要擦去钠表面上的油），加热，等到钠开始燃烧时，立即把燃烧匙伸入盛有氯气的集气瓶中，氯气和金属钠立即发生剧烈反应，发出热和耀眼的光。反应结果生成了白色氯化钠。

通过上述现象说明，在实验条件下，钠原子和氯原子相遇，发生激烈的相互碰撞，产生了两者相互争夺电子的斗争。由于钠原子最外电子层上有一个电子，氯原子最外电子层上有七个电子，而且氯原子核对电子的吸引力大于钠原子核对电子的吸引力，所以争夺的结果，打破了单个原子中吸引与排斥的暂时平衡，钠原子失去了一个电子，氯原子获得了一个电子。当钠原子最外电子层上的一个电子转移给氯原子后（见图 2—3），它们双方的最外电子层都达到了八个电子的稳定结构，钠原子失去一个电子形成了带一个正电荷的钠离子（ Na^+ ），氯原子获得一个电子形成了带一个负电荷的氯离子（ Cl^- ），因为两种离子带相反电荷，借正、负电荷的相互吸引力使它们彼此靠近，从而结合成氯化钠离子型分子（ Na^+Cl^- ）。但是，这种靠近是有限度的，当正、负离子靠近到一定距离时，正、负离子之间的吸引力与两个离子的电子层之间以及原子核之间的斥力达到了平衡，这时它们

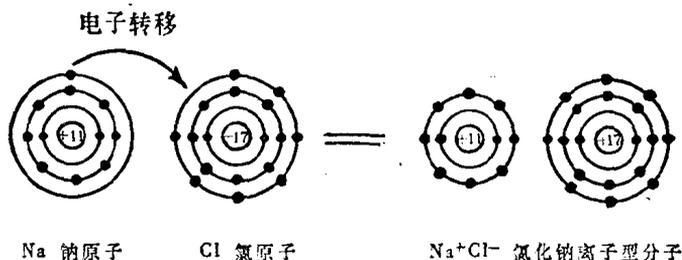


图 2—3 氯化钠的形成

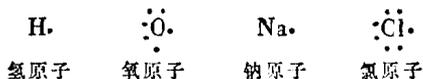
就保持这样的距离在自己的平衡位置上振动着。这种由于电子转移产生正、负离子，靠正、负离子间的相互吸引力产生的化学结合力，叫做离子键（或电价键）。由离子键所形成的化合物，叫做离子化合物。

从上面的叙述可以引出下面的结论：中性原子间由于电子的转移形成了正、负离子，离子键是由正、负离子间的相互吸引力所引起的。正、负离子分别是键的两个极，所以离子键是有极性的。

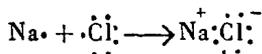
应该注意，在形成离子键时，负离子的电子层和惰性气体原子的电子层相同，而正离子的电子层却不一定。有一些正离子，例如，锌离子 (Zn^{2+})、亚铁离子 (Fe^{2+}) 和铅离子 (Pb^{4+}) 等，它们的电子层和惰性气体原子的电子层不相同，它们也能形成离子键。另外，不能只从符号上看，原子与离子只是元素符号右上角相差一个“+”或“-”，例如钠原子 (Na) 和钠离子 (Na^+)；氯原子 (Cl) 和氯离子 (Cl^-)。应该认识到原子与离子的内部结构有了质的区别，因而在性质上也就根本不同，例如，钠离子与水不起作用，而金属钠能剧烈地与水发生反应。所以一定不能把原子和离子互相混

清。

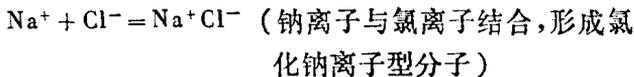
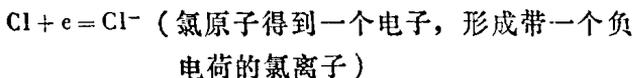
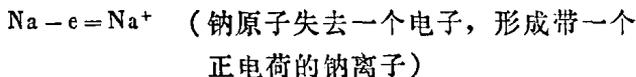
我们常在某元素符号的周围，用小黑点或其他记号（如×）代表电子，以表示这个原子最外电子层上的电子数。例如：



这种简单表示原子结构的图式叫“电子式”。利用电子式表示原子结构和化学反应，在学习化学键时可以得到很多方便。下面用电子式来表明氯化钠的形成过程：



如果用“e”代表电子，可以用下列方式（电子方程式）表示生成氯化钠的过程：



又如镁与氯的相互作用：

由图1—7知道，镁原子的最外电子层上有两个电子，镁原子容易失去最外电子层上的两个电子形成八个电子的稳定结构，同时生成带两个正电荷的镁离子(Mg^{2+})，如图2—4所示。我们知道氯原子最外电子层上有七个电子，它容易获得一个电子形成八个电子的稳定结构，同时生成带一个负电荷的氯离子(Cl^-)，这样必须有两个氯原子

个电荷相反的离子结合。例如，在离子化合物氯化钠晶体（食盐颗粒）内，每一个正离子都被六个负离子包围着（见图 2—5），而每一个负离子，都被六个正离子包围着，显然在这晶体中并没有单个的氯化钠分子（只有在气态时才存在着离子型分子 Na^+Cl^- ），一般说来，整个晶体可以看作是一个大的氯化钠分子。

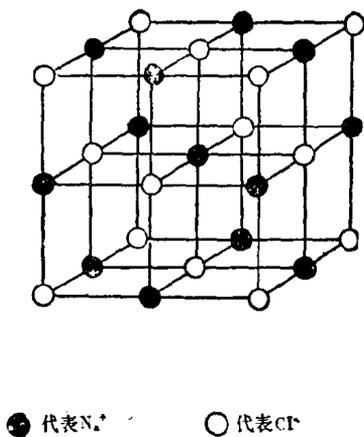


图 2—5 氯化钠晶体的结构

在离子化合物中，正、负离子之间有着强烈的吸引力，所以离子化合物都具有较高的熔点和沸点。例如，氧化钙、氧化镁等离子化合物就是常用的耐火材料。另外，由于离子化合物中的基本粒子是带电的离子，所以离子化合物在熔融状态或溶解在水中都能导电。

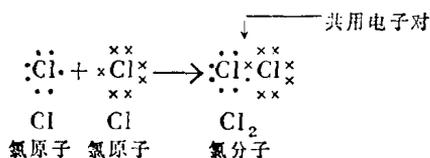
2. 共价键

离子键能够简单阐明离子化合物的生成和有关性质，但它不能说明，在固态和液态下都不导电的单质和化合物分子（如氢 H_2 ①、氧 O_2 、氮 N_2 、氯化氢 HCl 和二氧化碳 CO_2 等）的形成，为此，人们从实践中又总结提出了共价键。下面以两个氯原子形成氯分子的过程为例来说明。

我们知道，氯原子的最外电子层上有七个电子，当两个氯原子相遇时，相互争夺电子，都有愿意得到电子达到稳定

① 见第47页。

结构的倾向，但由于双方争夺电子的能力相等，不可能产生电子的转移，于是每个氯原子各提供出最外电子层上的一个电子组成一对电子，为两个氯原子所共用，这对电子叫做共用电子对。共用电子对和分子中每一个氯原子最外电子层上的其余六个电子，构成最外电子层上具有八个电子的稳定结构。下面，以“·”表示第一个氯原子最外电子层上的电子；以“×”表示第二个氯原子最外电子层上的电子。用电子式表明氯分子的形成过程：

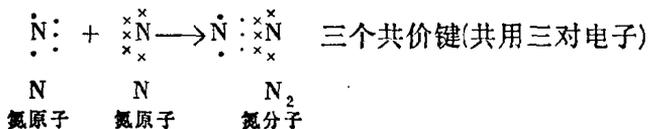


氯分子的形成

共用电子对分别与两个原子核相互作用，使两个原子核靠近，但随着两个原子核的靠近，核与核间和电子与电子间的排斥力（同性电相排斥）增加，当吸引力与排斥力达到平衡时，即形成了氯分子。这种由于原子之间形成一对或几对共用电子对而产生的化学结合力，叫做共价键。

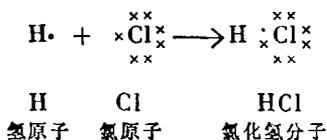
由于共价键是由中性原子共用电子而形成的，其中没有电子的得失，所以由共价键所构成的分子中，并没有离子，只有原子。所以共价键又叫原子键。

又如，两个氮原子形成氮分子的过程，用电子式表示如下：



以上由相同原子组成的物质的分子中，共用电子对没有偏向任何一个原子，分子中的每一个原子都不显电性，这种共价键没有极性，叫做非极性共价键。

共价键不但存在于由同种元素的原子形成的单质分子里，而且也存在于性质比较相近的不同元素的原子相互化合而生成的化合物分子里。由于不同元素的原子争夺电子的能力不相同，因而共用电子对并不是均等地属于两个不同原子，而是偏向于争夺电子能力较大的原子的一方，这里虽然没有形成离子（因为没有电子的得失），但毕竟造成在分子的一端正电性较强（显正电性），而一端负电性较强（显负电性）的现象。现以氯化氢分子的形成过程为例来说明：

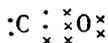


在氯化氢（HCl）分子中，由于氯原子（Cl）争夺电子的能力大于氢原子（H），因而电子对偏向于氯原子一边，使氯原子一端显负电性，氢原子一端显正电性，这样共价键就有了极性。这种电子对偏向于某一个原子的共价键，叫做极性共价键。仅由共价键形成的化合物，叫做共价化合物。例如氯化氢和水都是共价化合物。

*根据量子力学的观点，当形成共用电子对的两个电子自旋方向相反时，就会发生电子云的重叠，而形成共价键。电子云重叠的程度愈大，共价键愈稳定。因此，在形成共价键时，电子云总是尽可能地达到最大限度的重叠。

*除离子键和共价键以外，还有一类共价键，在这类共

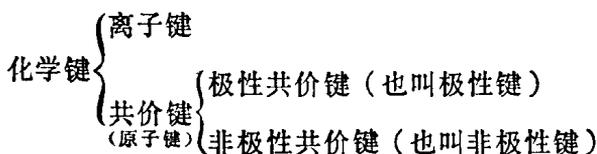
价键中，共用电子不是由两个原子平均分担的，而是由其中一个原子提供一对电子和另一个原子共用。例如，在一氧化碳（CO）分子中：



“·”和“×”分别代表 C 和 O 最外电子层上的电子

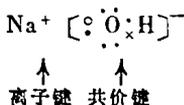
除了 C 和 O 各供给两个电子形成两个共价键外，O 还提供一对电子由两个原子共用，使 C 和 O 的最外电子层都形成了惰性气体的稳定结构，这种由一个原子提供一对电子形成的共价键叫做配价键（或配位键）。

综上所述，由原子形成分子的化学键有下述几种主要类型：



当性质极不相同的元素（如易失电子的金属和易得电子的非金属）的原子结合成分子时形成离子键；同种原子或性质比较相近的元素的原子结合成分子的时候，原子间就形成共价键。离子键和共价键之间并没有绝对的界限，极性键就是介于离子键和非极性键之间的过渡状态（见图 2-1-6）。

最后，还必须指出：在三种或三种以上不同元素的原子所生成的化合物中，其中可能有离子键，又有共价键，例如在氢氧化钠（NaOH）里就是这样。



“·” “·” “×” 分别代表 Na、O 和 H 最外电子层上的电子

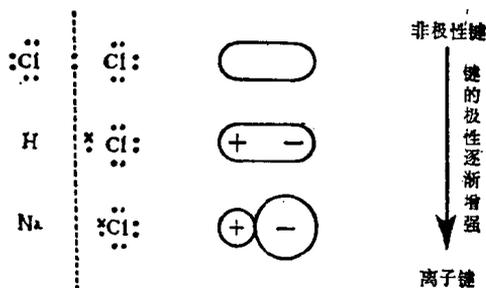


图 2—6 非极性键过渡到离子键的示意图

在氢氧化钠分子里，氢原子和氧原子之间以共价键结合在一起，形成一个原子团（OH），这个原子团中的原子通常也不分开，这个原子团象一个单独原子一样参加反应。凡是作用象一个单独原子一样的原子团，叫做“根”。组成根的原子获得或失去电子形成根离子。如 OH^- 和 SO_4^{2-} 分别叫做氢氧根离子和硫酸根离子。在氢氧化钠分子里，钠离子（ Na^+ ）与氢氧根离子（ OH^- ）之间是离子键。

二、极性分子和非极性分子

在任何分子中，都有带正电荷的粒子——原子核，带负电荷的粒子——电子。对于每一种电荷（正电荷和负电荷）来说，可以设想电荷集中在一点，这一点叫做“电荷的重心”。如果分子中正、负电荷分布均衡，正电荷重心与负电荷重心相重合，那么整个分子不显电性，叫做非极性分子。

例如，在氢、氯、氮等分子中，由于共用电子对是对称

地分布在两核之间，它们的正电荷重心和负电荷重心必相重合。因此，它们都是非极性分子。在由不相同原子所构成的氯化氢(HCl)分子中，共用电子对靠近氯原子，这样，正、负电荷在分子中分布得不均衡，正电荷重心和负电荷重心不重合，因此，它是极性分子(见图2—7)。图中“+”和“-”表示正、负电荷重心的相对位置，叫做分子的极。每个极性分子的两极之间的距离愈远，则分子的极性愈强。

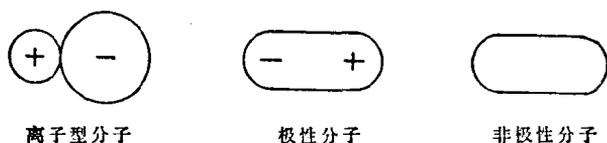


图 2—7 各种类型的分子

我们知道离子键是由正、负离子间吸引力所引起的，正、负离子分别是键的两个极，所以离子键是有极性的。显然由离子键构成的 Na^+Cl^- 离子型分子也是有极性的。

分子的极性是由键的极性所引起的。对于由两个原子构成的分子来说，如 H_2 、 Cl_2 、 HCl ，键的极性与分子的极性是一致的。键有极性，则分子也有极性。例如氯化氢分子(HCl)，它具有极性共价键，所以它是极性分子。又如氢分子(H_2)和氯分子(Cl_2)它们具有非极性共价键，所以它们都是非极性分子。

对于多原子构成的分子是否有极性，除与其键的极性有关外，还与分子内原子在空间的配置有关。例如，实验测得，二氧化碳分子是非极性分子。我们知道，二氧化碳分子是由一

个碳原子和两个氧原子组成的，虽然 C、O 之间的共价键是有极性的，但由于在分子的结构中，原子在空间的配置是直线对称的（图 2—8），所以二氧化碳分子是非极性分子。又如，实验测得，水分子是极性分子。我们知道，水分子是由两个氢原子和一个氧原子组成的，H、O 之间的共价键是有极性的，因为在水分子中 H、O 原子在空间的配置不是直线对称而是有一定角度的（见图 2—9），所以水分子是有极性的。

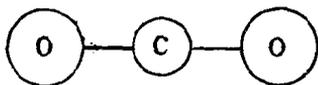


图2—8 二氧化碳分子的结构

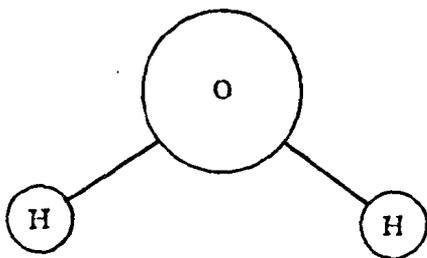


图2—9 水分子的结构

总之，对于多原子构成的分子，如果结构是对称的，虽然个别的共价键具有极性，而整个分子仍然是没有极性。如果结构不对称，键有极性，则分子也有极性。

实际上，各种分子极性的强弱是用实验方法测定的。

习 题

1. 根据原子结构理论，说明原子结合成分子的原因。
2. 什么叫化学键？
3. 什么叫离子？什么叫正离子（阳离子）、负离子（阴离子）？举例说明正、负离子的表示方法。
4. 什么叫“根”？举例说明“根”及“根离子”。

5. 写出下列各组中粒子的名称, 画出结构图, 并指出各组中两粒子之间在结构上的相同和不同的地方。

Na 和 Na^+ , Cl 和 Cl^- , Mg 和 Mg^{2+} , Al 和 Al^{3+} ,
O 和 O^{2-} 。

6. 举例说明离子键和共价键有什么不同。极性共价键与非极性共价键有什么不同。

7. 指出下列单质或化合物分子中化学键的类型, 对于生成下列单质或化合物分子时有电子得失者, 指出哪些原子获得电子、哪些原子失去电子。

氯化钠分子, 氯化镁分子, 氯分子, 氮分子, 氢分子。

8. 用电子式表示下列分子的结构:

氯化氢分子, 氮分子, 氯分子。

9. 指出在氢氧化钠分子中有哪几种化学键。

10. 指出下列单质或化合物的分子哪些是极性分子、哪些是非极性分子; 并对多原子分子说明键的极性和分子极性的关系。

(1) 氯化氢分子; (2) 水分子; (3) 二氧化碳分子;

(4) 氢分子; (5) 氧分子。

第二节 分子式 分子量 化合价

学习要求:

1. 牢固掌握分子式及分子式中各种符号所代表的意义, 并能根据分子式计算分子量。

2. 从离子化合物及共价化合物理解元素的化合价, 并掌握应用化合价的几项原则。

3. 熟记常用元素及根的主要化合价, 并能较熟练地根据已知条件计算化合物中元素的化合价。

4. 能较熟练地写出简单化合物的分子式。

一、分子式和分子量

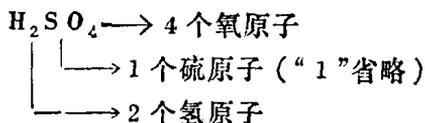
1. 分子式

从实践中人们认识到，各种化合物都具有一定的组成。为了便于研究物质，化学上利用元素符号来表示物质分子的组成。例如，已知氧分子是由两个氧原子组成的，就用“ O_2 ”表示氧分子的组成。这种用元素符号来表示物质分子组成的式子，叫做分子式。又如“ CO_2 ”是二氧化碳的分子式，它表示二氧化碳分子是由一个碳原子和两个氧原子组成的。

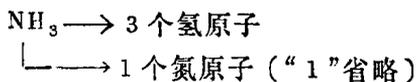
“ H_2O ”是水的分子式，它表示水分子是由两个氢原子和一个氧原子组成的。

由上可以看出，如果某物质的分子组成中，含有的某一种原子为两个或两个以上时，应该把原子的个数写在元素符号的右下角（如果原子数是“1”时，可省略）。

例如，硫酸的分子是由两个氢原子、一个硫原子和四个氧原子组成的，硫酸的分子式为：



又如，氨的分子是由一个氮原子和三个氢原子组成的，氨的分子式为：



为了更好地学习掌握元素符号所代表的意义，特举以下几例加以说明。

当作氯化钠的分子式。其他离子化合物的晶体也类似。

2. 分子量

分子是由原子组成的，原子有原子量，那么分子也有分子量。用碳单位表示的一个分子的重量，叫做分子量。它等于一个分子中各原子的原子量的总和。所以计算某物质的分子量时，只要将此物质的分子式中各原子的原子量相加即可。

例如，水的分子式为 H_2O ，即一个水分子中含有两个氢原子，一个氧原子。

已知：氢的原子量 = 1.008；氧的原子量 = 16.00

则：水的分子量 = $1.008 \times 2 + 16.00 = 18.02$ 。

又如：硫酸的分子式为 H_2SO_4 ，即一个硫酸分子中含有两个氢原子，一个硫原子和四个氧原子。

已知：氢的原子量 = 1.008；氧的原子量 = 16.00；

硫的原子量 = 32.06。

则：硫酸的分子量 = $1.008 \times 2 + 32.06 + 16.00 \times 4$
= 98.08

用分子式表示物质分子的组成，有很多好处，概括起来，分子式可以表示以下几种意义。下面以水为例，加以说明：

分子式的意义	以 H_2O 为例
(1) 表示物质的一个分子	(1) 表示一个水分子
(2) 表示物质是由什么元素组成的	(2) 水是由氢、氧两种元素组成的
(3) 表示物质一个分子中各元素原子的个数	(3) 一个水分子中含有两个氢原子和一个氧原子
(4) 表示物质的分子量	(4) 水的分子量 = $1.008 \times 2 + 16.00$ = 18.02
(5) 表示组成物质的各元素的重量比	(5) 水(H_2O)中氢、氧两元素的重量比为 1.008:8.00

各种物质的分子式，是用实验的方法，测定了物质的组成及其分子量然后得出来的。

二、化合价^①

1. 化合价的意义：科学实验证明：氯气与氢气反应时，一个氯原子与一个氢原子结合生成一个氯化氢分子（HCl）；氧气与氢气反应时，一个氧原子与两个氢原子结合生成一个水分子（H₂O）；而氮气与氢气反应时，则是一个氮原子与三个氢原子结合生成一个氨分子（NH₃）。上述事实说明，在化合物中，不同元素的原子相互结合是有一定数目的。元素的原子跟其他元素的原子按一定数目相互化合的性质，叫做元素的化合价。

在由离子键形成的化合物里：某元素在这种化合物中的化合价，就是某元素的一个原子，在形成这种化合物的反应过程中，能够失去或获得的电子数目，它在数值上就等于生成的离子所带的电荷数。元素的原子失去电子生成正离子的，元素的化合价为正化合价（或正价），失去的电子数目愈多，元素的化合价愈高；元素的原子得到电子生成负离子的，元素的化合价为负化合价（或负价），得到的电子数目愈多，元素的化合价愈低。例如，在形成氯化钠时，钠原子失去一个电子变成带一个正电荷的钠离子；氯原子得到一个电子变成带一个负电荷的氯离子，因而在氯化钠中，钠为+1价，氯为-1价。

一般说来，在形成离子化合物时，金属原子总是失去电

^① 确切地应该叫做氧化值（表示原子形成分子时得失或偏移的电子数），本书未引入此概念，以后均用化合价。

子而生成正离子，非金属原子总是获得电子而生成负离子，所以通常金属总是显正价，非金属总是显负价。又因为在分子形成过程中，金属原子失去电子的数目和非金属原子得到电子的数目相等，所以在任何化合物里，各元素正、负化合价的代数之和，一定等于零；也就是说，所有元素正价总数和负价总数的代数之和等于零。

例如，在氯化钠 (NaCl) 中：钠为 $+1$ 价，氯为 -1 价， $(+1)+(-1) = 0$ 。

又如，在氯化镁 (MgCl_2) 中：

镁为 $+2$ 价（形成 MgCl_2 时，镁原子失去两个电子，生成镁的两价正离子 Mg^{2+} ），

氯为 -1 价（形成 MgCl_2 时，氯原子得到一个电子，生成氯的一价负离子 Cl^- ），因 MgCl_2 中有两个氯，所以总的为 -2 价，

$(+2)+(-2) = 0$ 。

可以把元素的化合价写在元素符号的右上方用“ $+$ ”表示正价，用“ $-$ ”表示负价。例如， $\text{Na}^{+1}\text{Cl}^{-1}$ ， $\text{Mg}^{+2}\text{Cl}_2^{-1}$ 等。

在由共价键形成的化合物里：元素的化合价就等于该元素的原子与其他元素的原子构成共用电子对时所供给的电子数目。例如，在氯化氢 (HCl) 分子里，氢原子和氯原子在构成共用电子对时各供给一个电子，所以氢和氯都是 1 价。但又因为共用电子对偏向于氯原子一方，使氯原子多少带有负电性，氢原子多少带有正电性，在这种情况下，我们把氯看作是 -1 价，把氢看作是 $+1$ 价。氯化氢分子中，氢、氯两种元素化合价的代数之和也等于零。

科学实验证明，元素化合价不是固定不变的。

在化学反应里，由于反应情况的不同，原子并不一定每次都能失去它可以失去的电子，它可能失去一部分或全部。因此，有许多元素在参加化学反应的时候，由于反应情况不同，表现的化合价也不一样。具有这样情形的化合价，叫做可变化价，没有这样情况的化合价叫做不变化价。例如，铁有+2价和+3价，铜有+1价和+2价，都是可变化价，钠只有+1价，钙只有+2价，都是不变化价。

应用化合价时，应注意下列几项原则：

(1) 不同元素在形成化合物时，才表现出化合价来。单质是由同种元素组成的，所以单质的化合价为零。

(2) 金属元素常为正价。例如钠为+1价，铝为+3价等。

(3) 氢和非金属元素化合时，常为+1价。

(4) 氧常显-2价（与氟化合时或与氧生成过氧化物时例外）。

(5) 非金属元素和金属元素化合时，非金属元素为负价。

(6) 每一化合物中，所有元素的正、负化合价的代数和等于零。

为了更好地掌握分子式的写法，上述各项原则应该熟记。

表2-1写出了常用元素的化合价（最常用元素的化合价应该记住）。

表 2—1 几种常用元素的主要化合价

元素名称	符号	常见化合价	元素名称	符号	常见化合价
氢	H	+1	钠	Na	+1
氧	O	-2	钙	Ca	+2
氮	N	-3, +5	镁	Mg	+2
氯	Cl	-1, +5	铝	Al	+3
碳	C	+2, +4	锌	Zn	+2
硅	Si	+4	铁	Fe	+2, +3
磷	P	-3, +5	铜	Cu	+1, +2
硫	S	-2, +4, +6	锰	Mn	+2, +4, +7
铬	Cr	+3, +6	银	Ag	+1
钾	K	+1	钡	Ba	+2

我们知道，凡是作用和一个单独原子一样的原子团叫做“根”。若在形成化合物的过程中有“根”参加时，则“根”也表现出化合价，叫做根价。例如，在氢氧化钠 (NaOH) 分子中，已经知道钠的化合价为 +1，所以氢氧根的根价为 -1 (OH^-)。又如硫酸 (H_2SO_4) 分子中，已知氢为 +1 价，两个氢共为 +2 价，因为分子中正价总数与负价总数之和为零，所以，硫酸根为 -2 价 (SO_4^{2-})。

2. 有关化合价的计算

如要求出某元素的化合价，可根据该元素所在物质的分子式，以及上述应用化合价时应注意的几项原则进行计算。实际上，如果我们知道化合物的分子式，只要记住，在大多数化合物里，氢元素是 +1 价，氧元素是 -2 价，就可以计

算出另一种元素的化合价。

【例 1】 已知氧的化合价为 -2 ，求氧化钙(CaO)中钙(Ca)的化合价。

【解】 按化合物中所有元素的正、负化合价的代数和等于零：

$$\text{则 } (\text{Ca 的化合价}) + (-2) = 0$$

$$\therefore \text{Ca 的化合价} = +2.$$

答：在氧化钙中，钙的化合价为 $+2$ 。

【例 2】 已知氢的化合价为 $+1$ ；氧的化合价为 -2 ，求硫酸(H_2SO_4)中硫(S)的化合价。

【解】 由于 H_2SO_4 中有两个氢原子和四个氧原子，所以，分子中两个氢原子的化合价总数 $= (+1) \times 2 = +2$ ；分子中四个氧原子的化合价总数 $= (-2) \times 4 = -8$ ；

根据化合物分子中所有元素的正价总数和负价总数的代数和等于零：

$$\text{则 } (+1) \times 2 + \text{S 的化合价} + (-2) \times 4 = 0$$

$$+2 + \text{S 的化合价} - 8 = 0$$

$$\therefore \text{S 的化合价} = +6.$$

答：在硫酸(H_2SO_4)中硫(S)的化合价为 $+6$ 。

【例 3】 已知钾的化合价为 $+1$ ；氧的化合价为 -2 ，求重铬酸钾($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)中铬(Cr)的化合价。

【解】 按化合物分子中所有元素的正价总数和负价总数的代数和等于零：

在 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 中有两个钾原子、两个铬原子和七个氧原子；

钾的化合价为 $+1$ ，两个钾原子的化合价总数为：

$$(+1) \times 2 = +2;$$

氧的化合价为 -2 ，七个氧原子的化合价总数为：

$$(-2) \times 7 = -14;$$

设铬的化合价为 x ，两个铬原子的化合价总数为 $2x$

$$\text{则 } (+1) \times 2 + 2x + (-2) \times 7 = 0$$

$$2x = +12$$

$$\therefore x = +6$$

答：在重铬酸钾($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)中铬(Cr)的化合价为 $+6$ 。

从以上各例可以看出：

要计算化合物中某元素的化合价时，把化合物中各元素的正、负化合价分别乘上它们的原子个数，然后相加使其代数和等于零，列出算式解之即得（熟练后可直接心算）。

【例4】 已知氧的化合价为 -2 ，计算三氧化二铁(Fe_2O_3)中铁(Fe)的化合价。

【解】 设Fe的化合价为 x

$$\text{则 } 2x + (-2) \times 3 = 0$$

$$2x = +6$$

$$\therefore x = +3$$

答：在三氧化二铁(Fe_2O_3)中铁(Fe)的化合价为 $+3$ 。

三、根据化合价书写化合物的分子式

分子式正确地反映了原子组成分子这一客观存在。因此要写出一个正确的分子式，首先必须知道这个物质是客观存在的。要写出化合物的分子式，必须知道组成该化合物的元素种类和化合价，然后按照以下原则，就可以正确阅读和书

写一般简单化合物的分子式。

1. 一种金属元素和一种非金属元素所组成的化合物：在写分子式时，要把金属元素的符号写在前面，非金属元素的符号写在后面，例如： NaCl ， Fe_2O_3 等。在读这些化合物的名字时，应该先读非金属元素的名字，然后读金属元素的名字，上面列举的两种化合物分别读做氯化钠和三氧化二铁。

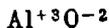
2. 氢和非金属元素组成的化合物：在写分子式时，要把氢的符号写在前面，非金属元素的符号写在后面，例如： HCl ， H_2S 等。在读这些化合物的名字时，应该先读非金属元素的名字，然后读氢的名字，上面列举的化合物，分别读做氯化氢和硫化氢。但也有例外的，如 NH_3 ， PH_3 等。

3. 一种非金属元素与氧组成的化合物：在写分子式时，要把非金属元素的符号写在前面，氧的符号写在后面。例如： CO_2 ， P_2O_5 。在读它们的名字时，先读氧，后读非金属元素的名字。上面列举的两种化合物，分别读做二氧化碳和五氧化二磷。

4. 按照已知元素的化合价，根据化合物中所有元素正价总数和负价总数的代数和等于零的原则，确定分子式中各元素原子的个数，然后写出正确分子式。

【例1】 已知铝的化合价为+3，氧的化合价为-2，写出氧化铝的分子式。

【解】 (1) 写出组成化合物的元素的符号，金属元素写在前面，非金属元素写在后面，并注明每一种元素的正、负化合价数。



(2) 计算出这两种元素正、负化合价的绝对值的最小公倍数。

3 和 2 的最小公倍数为 6。

(3) 分别用这两种元素化合价的绝对值去除求得的最小公倍数，则得到这两种元素的原子个数。

$$\text{铝原子的个数} = \frac{6}{3} = 2$$

$$\text{氧原子的个数} = \frac{6}{2} = 3$$

(4) 把所求得的原子个数分别写在各元素符号的右下角，即得出分子式。

氧化铝的分子式为： Al_2O_3 。

(5) 检查所写的分子式中所有元素正、负化合价总数的代数和是否等于零。

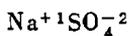
$$(+3) \times 2 + (-2) \times 3 = 0$$

$\xrightarrow{\text{铝原子的个数}}$ $\xrightarrow{\text{氧原子的个数}}$
 $\xrightarrow{\text{铝的化合价}}$ $\xrightarrow{\text{氧的化合价}}$

元素正、负化合价总数的代数和等于零，所以 Al_2O_3 这个分子式是正确的，读做三氧化二铝。

【例 2】 已知钠的化合价为 +1，硫酸根 (SO_4) 的化合价为 -2，写出硫酸钠的分子式。

【解】 (1) 写出组成化合物的元素(或根)的符号，金属元素写在前面，非金属元素(或根)写在后面，并注明它们的正、负化合价。



(2) 计算出元素及根正、负价的绝对值的最小公倍

数。

1 和 2 的最小公倍数为 2

(3) 分别用元素及根的化合价的绝对值去除求得的最小公倍数，则得元素的原子个数和酸根的个数。

$$\text{钠原子的个数} = \frac{2}{1} = 2$$

$$\text{硫酸根的个数} = \frac{2}{2} = 1$$

(4) 把求得的原子和根的个数写在元素符号和根的右下角，即得分子式。

硫酸钠的分子式是 Na_2SO_4 (因为根的个数是 1，所以根外就不写括号了)。

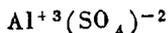
(5) 检查所写分子式中元素和根的正、负化合价总数的代数和是否等于零。

$$\begin{array}{ccccccc} & (+1) & \times & 2 & + & (-2) & \times & 1 & = & 0 \\ \text{钠的化合价} & \longleftarrow & & & & & & & & \text{硫酸根的个数} \\ & & & \longleftarrow & & & & & & \longleftarrow \\ & & & & & & & & & \text{硫酸根的化合价} \\ & & & \text{钠原子的个数} & & & & & & \end{array}$$

元素和根的正、负化合价总数的代数和为零，所以 Na_2SO_4 这个分子式是正确的，读做硫酸钠。

【例 3】 已知铝的化合价为 +3，硫酸根的化合价为 -2，写出硫酸铝的分子式。

【解】 (1) 写出组成化合物的元素(或根)的符号，并注明化合价。



(2) 计算元素及根正、负价的绝对值的最小公倍数。

3 和 2 的最小公倍数为 6。

(3) 求元素的原子个数和酸根个数。

$$\text{铝原子个数} = \frac{6}{3} = 2$$

$$\text{硫酸根个数} = \frac{6}{2} = 3$$

(4) 写出分子式。

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 。(因为根的个数不是1, 所以根外要写括号, 并将根个数写在括号外的右下角)。

(5) 检查正、负化合价总数的代数和是否等于零。

$$(+3) \times 2 + (-2) \times 3 = 0$$

所以, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 这个分子式是正确的, 读做硫酸铝。

应该注意, 只有确实知道某种化合物存在, 才能根据元素的化合价写出它的分子式。

习 题

1. 什么叫分子式? 分子式表示哪几种意义? 举例说明。

2. 指出下列各式表示什么意义?

Cl , 5Cl , Cl_2 , 5Cl_2 , 4N_2 , $2 \text{H}_2\text{O}$, $4 \text{H}_2\text{SO}_4$, 3NH_3 ,
 $\text{C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6$ (杀虫剂“六六六”的分子式)。

3. 计算下列单质或化合物的分子量。

氧化钙(CaO), 氧气(O_2), 氨(NH_3), 碳酸钙(CaCO_3),
铁(Fe)。 (答: 56.08; 32.00; 17.03; 100.1; 55.85)

4. 指出下列化合物分子式中各金属元素及酸根的化合价, 并写出前四个化合物的名称。

Fe_2O_3 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, CuO , MgO , HMnO_4 (高锰酸), $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$
(重铬酸)。

5. 已知Na、Mg、Ca、Al、C和S的化合价分别为+1、+2、+2、+3、+4和+6, 写出各元素与氧生成的化合物的名称和分子式。

式。

6. 根据元素的化合价，检查下列化合物的分子式是否正确？把错误的地方更改正确。

盐酸 H_2Cl ，水 HO_2 ，氧化铝 AlO_3 ，氯化镁 Mg_2Cl ，
氧化钠 NaO ，氧化钙 Ca_2O ，氯化银 $AgCl$ ，氧化锌 Zn_2O 。

7. 写出下列化合物的名称。

HCl ， NaF ， H_2S ， NO ， P_2O_3 ， K_2SO_4 ， $Al_2(SO_4)_3$ ，
 $Fe_2(SO_4)_3$ 。

第三节 化学方程式和有关的化学计算

学习要求：

1. 了解物质不灭定律的意义，掌握化学方程式的意义，并能写出完整的较简单的化学方程式。

2. 牢固掌握克原子、克分子、克原子数、克分子数、气体克分子体积等概念，并能进行有关计算。

3. 能较熟练地应用化学方程式进行有关计算。

一、物质不灭定律

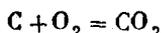
我们知道，化学反应实际上就是参加反应的那些物质的分子里的原子，重新组合成别的一些物质的分子的过程，由于在化学反应里，原子只是重新组合，所以反应前后原子的种类和数目必然都没有变化，反应前后物质的总重量也必然相等。参加反应的各种物质的总重量，等于反应后生成的各种物质的总重量。——这个结论是自然界一切变化所遵循的普遍规律，叫做物质不灭定律。例如，工厂每天都要烧掉大

量的煤，表面上看来，只剩下少量的煤灰，而实际上煤充分燃烧时还生成了大量二氧化碳飞散到空气里去了。煤在燃烧前的重量和参加反应的氧的重量之和，一定等于燃烧后生成的二氧化碳和煤灰的总重量。

二、化学方程式的意义和写法

1. 化学方程式 化学反应中，起反应的物质叫做反应物，生成的物质叫做生成物。例如碳在氧气中燃烧生成二氧化碳的反应，碳和氧是反应物，二氧化碳是生成物。

在化工生产和科学实验中，常用反应物和生成物的分子式表示化学反应。例如，碳在氧气中燃烧的反应可用下式表示：



这种利用分子式来表示化学反应的式子，叫做化学方程式（或化学反应方程式，也简称反应方程式）。

2. 简单化学方程式的写法 如何写化学方程式呢？首先应该强调指出的是，化学方程式是以客观事实做基础的，所以必须根据事实来写反应方程式，绝不能主观臆造。要写出化学反应的正确化学方程式，最好遵照下列顺序：

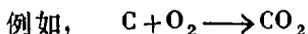
第一步：从实验和观察，查明哪些是反应物，哪些是生成物，并会写出它们的正确分子式。

第二步：把反应物的分子式用“+”号连接起来，写在左边；生成物的分子式用“+”号连接起来写在右边；中间用“ \longrightarrow ”表示物质的变化。

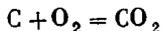
例如，碳燃烧的反应可写成 $\text{C} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2$

第三步：根据物质不灭定律，反应物的总重量与生成物

的总重量相等，即反应前后各元素的原子个数应相等，也就是化学方程式左、右两边各元素的原子个数应相等。假若在第二步写的式子中，左、右两边各元素的原子个数已经相等，把“ \longrightarrow ”改为“ $=$ ”，表示反应前后各元素的原子个数已经相等了。

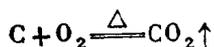


化学方程式左边有一个碳原子和氧分子里的两个氧原子，式子右边二氧化碳分子里也有一个碳原子和两个氧原子，因此可将上式中的“ \longrightarrow ”改为“ $=$ ”如下式：

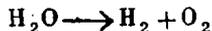


第四步：有的化学反应要在一定条件下才能进行，这样在化学方程式的等号上面（或下面）要注明反应条件。例如温度、压力、加热等。对于生成物是气体的，在分子式右边注“ \uparrow ”；生成物是沉淀（不溶解而沉下的物质）的，在分子式右边注“ \downarrow ”；加热用“ Δ ”注在等号上面（或下面）。

例如，碳燃烧的完整的化学方程式为：



3. 化学方程式的配平 假若在上面第二步写的式子中，左、右两边各元素的原子个数不相等，就要在反应物和生成物各分子式前配上适当的系数（所配置的系数表示各反应物和各生成物的最少的分子个数），使左、右两边各元素的原子个数都分别达到相等，这个过程叫做“化学方程式的配平”。例如水通直流电分解为氢气和氧气的反应可写成：



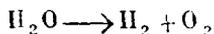
化学方程式左边水分子里有两个氢原子和一个氧原子，

右边有氧分子里的两个氧原子和氢分子里的两个氢原子。左、右两边的氧原子个数不相等，这样就必须进行配平，使化学方程式左、右两边各元素的原子个数都达到相等。

如何配平化学方程式呢？对于配平比较简单的化学方程式的规律是：

在化学方程式的两边，如果一边的某一种原子数是奇数（单数），而另一边的这种原子数却是偶数（双数）时，应先在较复杂的有奇数原子的分子式前面加上系数 2，使式子两边的这种原子数都成为偶数。随着此系数的添加，这种原子数变成了偶数，并且会有其他原子数也相应地被确定，依此可以继续进行配平，当配到方程式两边各原子数分别相等后，就把“ \longrightarrow ”改成“ $=$ ”，这个化学方程式就配平了。

【例 1】 配平水通直流电分解成氢气和氧气的化学方程式。



上式左边水分子里的氧原子数为奇数，式子右边氧分子里的氧原子数为偶数，则应先在有奇数氧原子的水分子式前面加上系数 2，即：

$$2 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_2 + \text{O}_2$$

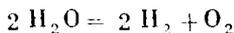
随着系数 2 的添加，两个水分子里共有 2 个氧原子，并且氢原子数也相应地被确定为 4，然后在式子右边氢分子式前面再加上系数 2，即：

$$2 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$$

此时左、右两边的氢、氧原子个数均达到了相等，这个化学方程式就配平了。

化学方程式两边氢、氧原子数已经相等了，就可以把

“ \longrightarrow ”改为“ $=$ ”即：

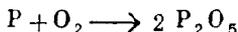


写成完整的化学方程式为： $2 \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{通直流电}} 2 \text{H}_2\uparrow + \text{O}_2\uparrow$

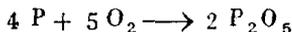
【例 2】在化学方程式的两边，如果一边有两种原子数分别为奇数和偶数，在另一边的这两种原子数却分别为偶数和奇数。以磷在氧气中燃烧生成五氧化二磷的反应为例，说明这种化学方程式的配平。



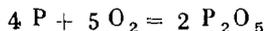
上式左边磷原子数为奇数，氧原子数为偶数；式子右边五氧化二磷分子里的磷原子数为偶数，氧原子数为奇数；这样在哪个有奇数原子的分子式前面添加系数 2 呢？应先在较复杂的有奇数原子的五氧化二磷的分子式前面加系数 2，使式子右边的氧原子数成为偶数。即：



随着系数 2 的添加，两个五氧化二磷分子里共有 10 个氧原子，并且磷的原子数也相应地被确定为 4，所以在式子左边氧的分子式前面加上系数 5，在磷的分子式前面加上系数 4，使两边的各种原子数均达到了相等。即：



方程式两边各原子数分别相等后，就可把“ \longrightarrow ”改为“ $=$ ”即：



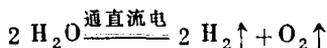
写成完整的化学方程式为： $4\text{P} + 5\text{O}_2 \xrightarrow{\Delta} 2\text{P}_2\text{O}_5$ ，还有许多较复杂的化学方程式，用上述的方法配平是有困难的，

在此不再详述^①。

在配平化学方程式时，还应注意以下两点：

(1) 配平化学方程式的过程中，不能改动物质的分子式，只有正确地选择系数来达到配平的目的。

(2) 配平时所添加的系数必须表示各反应物的最少的分子数。例如，水通直流电分解成氢气和氧气的反应方程式为：



而不写成： $4 \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{通直流电}} 4 \text{H}_2\uparrow + 2 \text{O}_2\uparrow$

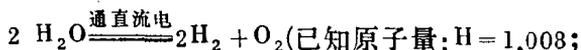
由上可以看出，化学方程式具有以下几种意义：

(1) 表明了一个真实的化学反应；

(2) 表明什么物质参加了反应和反应后生成了什么物质；

(3) 表明了各反应物之间；各生成物之间；以及各反应物与生成物之间的分子个数比和重量比等。

例如，水通直流电分解成氢气和氧气的反应为：



$$\text{O}=16.00)$$

分子个数比：2 : 2 : 1

重量比：2 × 18.016 : 2 × 2.016 : 32.00

$$= 36.032 : 4.032 : 32.00 = 9.008 : 1.008 : 8.00$$

由上看出：每36.032重量单位的水，通电分解可以生成

^① 参看第四章第三节。

按照这种分子式计算分子量时，要把根内各原子的原子量相加，把求得的根内各原子原子量之和乘以根的个数，然后再与分子式中根以外的其他各元素原子的原子量相加。

【解】 已知原子量：N = 14.01；H = 1.008；

S = 32.06；O = 16.00。

硫酸铵的分子式为：(NH₄)₂SO₄。

则硫酸铵的分子量为：

$$2(14.01 + 1.008 \times 4) + 32.06 + 16.00 \times 4 = 132.1.$$

根的个数 →
根内各原子的原子量之和
4个氧原子的原子量
→ 硫的原子量

(2) 由分子式计算化合物中各元素的百分含量：

【例1】 已知水的分子式为H₂O，计算水中氢、氧的百分含量。

【解】 已知原子量：H = 1.008；O = 16.00。

水的分子量为：1.008 × 2 + 16 = 18.016。

根据水的分子式H₂O，知道一个水分子里含有氢2.016份、氧16.00份，也就是说，18.016份水中氢占2.016份，氧占16.00份。

$$\text{则：氢在水中的含量} = \frac{2.016}{18.016} \times 100\%$$

$$= 11.2\%$$

$$\text{氧在水中的含量} = \frac{16.00}{18.016} \times 100\%$$

$$= 88.8\%$$

答：在水中含氢11.2%，含氧88.8%。

【例2】 计算氮肥硫酸铵 $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ 的含氮量。

【解】 由前题得知硫酸铵的分子量 = 132.1

已知：氮的原子量为14.01，在 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 中含有2个氮原子，也就是说132.1份硫酸铵中含有氮28.02份。

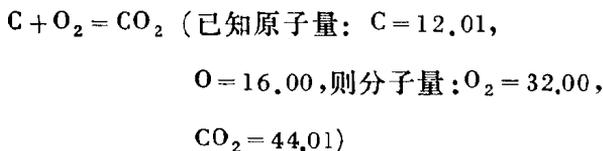
$$\begin{aligned}\text{则：氮在硫酸铵中的含量} &= \frac{28.02}{132.1} \times 100\% \\ &= 21.21\%.\end{aligned}$$

答：氮肥硫酸铵中含氮21.21%。

2. 克原子 克分子

前面介绍化学方程式的意义时曾经指出：化学方程式可以表示各反应物之间、各生成物之间以及各反应物与各生成物之间的分子个数比和重量比。并且只要各物质都用相同的重量单位，则重量比的关系是不变的。

例如，碳燃烧生成二氧化碳的反应为：



分子数比：1 : 1 : 1

重量比：12.01 : 32.00 : 44.01

若重量单位用克：12.01克 : 32.00克 : 44.01克

比较上式中的分子数比和重量比可以看出，重量比不如分子数比简单，能否使重量比也化简呢？引用“克原子”、“克分子”的概念，不只使此问题能得到解决，而且还使化学上的一些有关计算更简单方便。

按上式中所指出的，若把12.01克碳叫做1“克原子”碳；32.00克氧叫做1“克分子”氧；44.01克二氧化碳叫做1“克分子”二氧化碳，这样上式的重量比就可化为简单的克原子数或克分子数之比。

若一定量物质，其重量以克表示，在数值上等于其原子量（或分子量），则此一定的量叫做1“克原子”（或1“克分子”）。

例如，氧的原子量为16.00，1克原子氧为16.00克，氧的克原子量（即1克原子氧的重量）为16.00克。氧的分子量为32.00，1克分子氧为32.00克，氧的克分子量（即1克分子氧的重量）为32.00克。

3. 克分子数（或克原子数）

克分子（或克原子）的个数叫做克分子数（或克原子数），它与物质的重量的关系可用下式表示：

$$\text{物质的克分子数(或克原子数)} = \frac{\text{物质的重量(克)}}{\text{物质的克分子量(或克原子量)}} \cdot$$

下面讨论一下有关克原子和克分子的计算。

【例1】 问45.98克钠是几克原子钠？

【解】 钠的原子量 = 22.99，1克原子钠为22.99克或钠的克原子量为22.99克。

$$\text{则：钠的克原子数} = \frac{45.98 \text{克}}{22.99 \text{克}} = 2.$$

答：45.98克钠是2克原子钠。

【例2】 问5克原子碳是多少克？

【解】 C的原子量 = 12.01，C的克原子量 = 12.01克。

则：5克原子碳的重量 = 12.01克 × 5 = 60.05克。

答：5克原子碳是60.05克。

【例3】 4克氧气是多少克分子氧？

【解】 氧的原子量=16.00，氧的分子量=32.00，
氧的克分子量=32.00克。

则：氧的克分子数 = $\frac{4 \text{ 克}}{32.00 \text{ 克}} = 0.125$ 。

答：4克氧气是0.125克分子氧。

【例4】 问0.5克分子二氧化碳是多少克？

【解】 原子量：C=12.01，O=16.00。

分子量： $\text{CO}_2 = 44.01$ ，

CO_2 的克分子量=44.01克。

则：0.5克分子 CO_2 的重量 = $44.01 \text{ 克} \times 0.5 = 22.01 \text{ 克}$ 。

答：0.5克分子二氧化碳是22.01克。

应用克原子和克分子不但可以表示物质的重量，而且还可以表示一定重量的物质所含的原子数和分子数。

实验证明：1克分子或1克原子的任何物质都含有相同数目的分子或原子，这个数目，大约等于 6.02×10^{23} ①。

4. 气体克分子体积

某些化学反应是在气体状态下进行的，因此，就需要了解在一定体积气体里所有的分子个数和重量。知道了1升气体在标准状态下（温度是 0°C ，压力是1个大气压）的重量，就可以算出1克分子的气体在标准状况下所占的体积。

例如，实验测得在标准状况下，1升氧气的重量是1.429

① 凡含有 6.02×10^{23} 个原子（或分子）的物质叫做1摩尔原子（或1摩尔分子），摩尔是国际单位制中物质的量单位，但单位叫1克原子（或1克分子）。

克。又知道1克分子氧气的重量是32.00克。所以1克分子氧气在标准状况下所占的体积是 $\frac{32.00\text{克}}{1.429\text{克/升}} = 22.4\text{升}$ 。

同样，也可以算出，在标准状况下，1克分子的任何气体都占有22.4升^①的体积，这体积叫做气体的克分子体积。

【例1】 问128.12克二氧化硫(SO_2)在标准状况下，占有多大体积？

【解】 已知原子量： $\text{S} = 32.06$ ， $\text{O} = 16.00$ 。

SO_2 的分子量 = 64.06。

1克分子 SO_2 重64.06克，或说 SO_2 的克分子量为64.06克。

首先计算128.12克 SO_2 是多少克分子 SO_2 。

则： SO_2 的克分子数 = $\frac{128.12\text{克}}{64.06\text{克}} = 2$ 。

已知，在标准状态下，1克分子任何气体都占有22.4升，则2克分子 SO_2 所占的体积为：

$$22.4\text{升} \times 2 = 44.8\text{升}。$$

答：128.12克 SO_2 在标准状况下占有体积44.8升。

【例2】 在标准状况下，1升氮气重多少克？

【解】 已知原子量： $\text{N} = 14.01$ ，氮(N_2)的分子量 = 28.02，1克分子氮的重量为28.02克。

即 28.02克氮在标准状况下占22.4升。

则 1升氮的重为：

$$\frac{28.02\text{克}}{22.4\text{升}} = 1.25\text{克/升}。$$

① 近似值。

答：在标准状况下，1升氮气重1.25克。

四、热化学方程式

有些化学反应，在反应过程中放出热量，如物质的燃烧等。有些化学反应，在反应过程中吸收热量，如碳酸钙分解就需要吸收热量。化学反应过程中放出热量的反应叫做放热反应；吸收热量的反应叫做吸热反应。

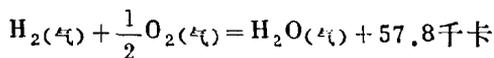
化学反应中放出或吸收的热量，可以用实验方法测得，并且可以写在化学方程式里。标明有放出或吸收热量的化学方程式，叫做热化学方程式。写热化学方程式时应注意以下几点：

(1) 放出或吸收的热量用卡^①或千卡作单位，写在化学方程式等号的右边。放热反应放出的热量用“+”号表示；吸热反应吸收的热量用“-”号表示。

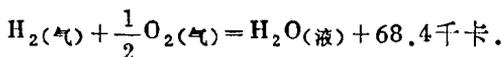
(2) 因为在反应过程中，吸收或放出热量的多少，与反应时的温度和压力，以及反应物和生成物的聚集状态有关，所以在写热化学方程式时，通常要说明温度和压力（如温度为25°C，压力为一大气压时，可以不必说明），并应标明物质的聚集状态（如果物质的聚集状态非常明显时，可以不另标明）。

(3) 热化学方程式中的系数，只表示克分子数，不代表分子个数，因此，可以写成分数。

例如：

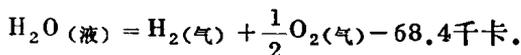


① 热量单位名称焦耳，中文符号焦，国际符号J，旧单位用卡，1卡 = 4.1868焦。



上面两个热化学方程式分别表示，在 25°C 和一个大气压下，1克分子氢气和 $\frac{1}{2}$ 克分子氧气，生成1克分子水蒸气时，放出热量57.8千卡；生成1克分子水时，放出热量68.4千卡。

又如，水分解为氢气和氧气的反应是吸热反应，这个分解反应，可以写成如下的热化学方程式：

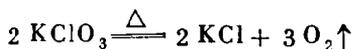


五、应用化学方程式的计算

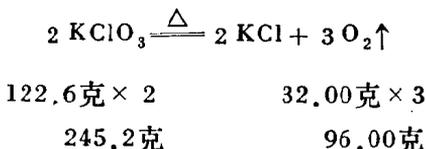
(1) 从一定量的反应物求生成物的重量或体积。

【例1】 已知原子量：氧为16.00，氯为35.45，钾为39.10。问490克氯酸钾 (KClO_3) 加热分解可制得多少克氧气？或多少升氧气（按标准状态计算）？

【解】 首先列出该反应的方程式：



其次算出所涉及的物质 (KClO_3 和 O_2) 的分子量 ($\text{KClO}_3 = 39.10 + 35.45 + 48.00 = 122.6$, $\text{O}_2 = 32.00$)，并将它们参加反应的重量（包括系数），写在分子式的下面：



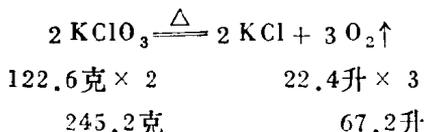
从反应方程式中可以看到：245.2克氯酸钾分解可制得

96.00克氧气。为了计算出490克氯酸钾分解所生成的氧气的克数，可组成下列比例式。设 x 为生成氧气的重量，则：

$$245.2:490 = 96.00:x$$

$$\therefore x = \frac{490 \times 96.00}{245.2} = 191.8 \text{克.}$$

计算生成氧气的体积，与以上计算不同的就是将氧分子式下面的分子量（包括系数），改用克分子体积（包括系数）。具体计算如下：



从反应方程式中可以看到：245.2克氯酸钾分解可制得氧气67.2升。为了计算出490克氯酸钾分解所生成的氧气的体积，可组成下列比例式。设 x 为生成氧气的体积，则：

$$245.2:490 = 67.2:x$$

$$\therefore x = \frac{490 \times 67.2}{245.2} = 134.3 \text{升.}$$

答：可制得氧气191.8克或134.3升。

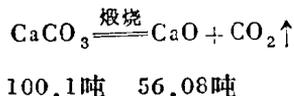
(2) 计算欲制取一定重量的生成物，所需反应物的重量。

【例2】 某人民公社办了一所小型化工厂，开采石灰石烧制生石灰，现在计划生产84吨生石灰，问需要用含碳酸钙80%的石灰石多少吨？已知原子量：Ca=40.08，C=12.01，O=16.00。

【解】 首先列出该反应的方程式：



其次算出所涉及物质 (CaCO_3 和 CaO) 的分子量 ($\text{CaCO}_3 = 40.08 + 12.01 + 48.00 = 100.1$; $\text{CaO} = 40.08 + 16.00 = 56.08$), 并将它们参加反应的重量写在分子式下面:



从反应方程式中可以看到: 要烧制 56.08 吨生石灰需用碳酸钙 100.1 吨。为了计算出制取 84 吨生石灰所需用的碳酸钙的吨数, 可组成下列比例式。设 x 为所需碳酸钙的重量, 则:

$$56.08 : 84 = 100.1 : x$$

$$\therefore x = \frac{100.1 \times 84}{56.08} = 149.9 \text{吨}$$

149.9 吨是所需碳酸钙的吨数。下面计算所需含碳酸钙 80% 的石灰石的吨数。含碳酸钙 80% 的石灰石的涵意, 是 80 吨碳酸钙含在 100 吨石灰石中, 计算 149.9 吨碳酸钙含在多少吨石灰石中。

设 x 为所需石灰石的重量, 则:

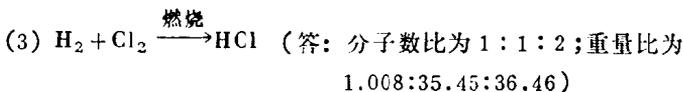
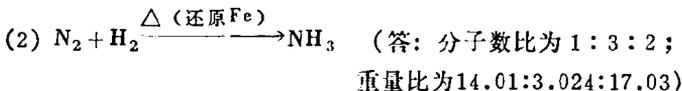
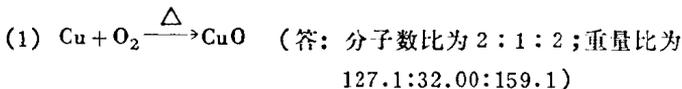
$$80 : 149.9 = 100 : x$$

$$\therefore x = \frac{149.9 \times 100}{80} = 187.4 \text{吨}$$

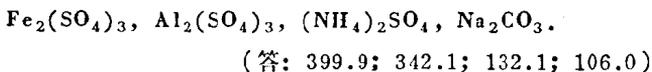
答: 需要用含碳酸钙 80% 的石灰石 187.4 吨。

习 题

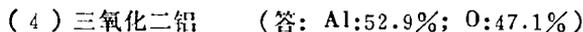
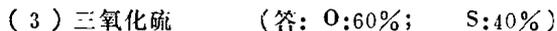
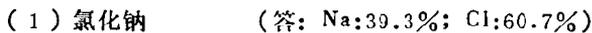
1. 什么叫物质不灭定律?
2. 举例说明怎样写化学方程式, 怎样写热化学方程式.
3. 配平下列化学方程式, 并求出各反应物和生成物之间的分子数比和重量比.



4. 计算下列化合物的分子量.



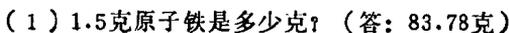
5. 根据元素的化合价, 写出下列化合物的分子式, 并求出组成该物质的各元素的重量百分比.



6. 什么叫克原子、克分子? 原子、克原子; 分子、克分子有什么不同? 举例说明.

7. 什么叫克原子数、克分子数? 它与物质重量有何关系?

8. 计算下列各题.



(2) 141.8克氯等于几个克原子氯？

(答：4个克原子氯)

(3) 2.5克分子氢氧化钠等于多少克？ (答：100克)

(4) 116.9克氯化钠等于几个克分子的氯化钠？

(答：2个克分子)

9. 什么叫气体克分子体积？

10. 在标准状况下，33.6升氧气重多少克？ (答：48克)

11. 在标准状况下，33.6升氧气里所含的分子数跟多少克氢气里所含的分子数相等？ (答：3.024克)

12. 某人民公社为支援国家建设建立了石灰厂。若在某个石灰窑中投入200吨含75%碳酸钙(CaCO_3)的石灰石，问可生产出生石灰多少吨？ (答：84.03吨)

13. 生石灰(CaO)与水作用生成熟石灰 $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ ，现有0.56吨生石灰，问至少需加多少吨水才能使其完全转变为熟石灰？

(答：0.18吨)

第三章 空气 氧化还原反应 水和氢

第一节 空 气

学习要求：

了解空气的组成及惰性气体的性质和用途。

空气是取之不尽、用之不竭的天然资源。为了能更好地利用空气为三大革命运动服务，我们下面谈谈空气的组成和性质方面的有关知识。

一、空气的组成

我们知道，由两种或两种以上不同物质混在一起组成的物质，叫做混和物。混和物中的各种成分，仍然保持着各自原来的性质。空气就是由氧气、氮气、惰性气体等多种气体组成的混和物。

空气的组成是很复杂的，可分为固定组成部分、可变组成部分以及不定组成部分三种。

固定组成部分包括：氧气、氮气和惰性气体，它们在空气中的含量几乎是不变的。

可变组成部分包括：二氧化碳和水蒸气，它们在空气中的含量只在较狭窄的范围内变动，由地理上的位置和温度所

决定。

不定组成部分：要看地区条件而定。如冶金工厂附近的空气中，常含有二氧化硫（ SO_2 ），电解食盐工厂附近的空气里则含有少量氯气（ Cl_2 ）。

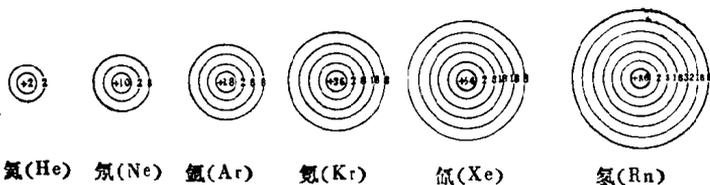
此外，空气中还有极微量的氢气（ H_2 ）、臭氧（ O_3 ）及或多或少的灰尘等。空气的成分按体积计算，氧气约占21%，氮气约占78%，惰性气体约占0.94%，二氧化碳约占0.03%，其他气体和杂质约占0.03%。

劳动人民很早就知道利用空气作动力，如使用风车。后来又把空气压缩作动力，如煤矿工人所用的风镐。不仅如此，空气还是天然化工原料，工业上用液态空气作为制备氧、氮以及惰性气体的原料。

二、惰性气体

惰性气体是氦、氖、氩、氪、氙、氡六种气体的总称。

从第一章原子结构的介绍知道，惰性气体原子的最外层电子层具有八个电子（氦有两个电子）的稳定结构（见图3—1）。



各同心圆上的数字表示各电子层上的电子数目

图3—1 惰性气体的原子结构示意图

惰性气体都是无色无嗅的气体，化学性质很不活泼，在一般情况下，它们很难跟其他物质发生化学反应，所以叫做

惰性气体。因为这些气体在空气中含量很少，所以又叫稀有气体。

惰性气体都是单原子分子。它们的分子式分别为：氦（He）、氖（Ne）、氩（Ar）、氪（Kr）、氙（Xe）、氡（Rn）。

表 3—1 列出了惰性气体的一些物理常数。根据它们沸点的不同，可以将惰性气体相互分离。

氦在所有的物质中沸点最低（ -268.9°C ），是最难液化的一种气体。

表 3—1 惰性气体的物理常数^①

惰性气体	原子量	熔 点 ($^{\circ}\text{C}$)	沸 点 ($^{\circ}\text{C}$)	在标准状况时 1 升气体的重量 (克)
He	4.003	-272.2	-268.9	0.1785
Ne	20.18	-248.67	-245.9	0.9002
Ar	39.94	-189.2	-185.7	1.7809
Kr	83.80	-156.6	-152.9	3.708
Xe	131.3	-112	-107.1	5.851
Rn	222.0	-110	-61.8	9.73

尽管惰性气体是极不活泼的，但在一定条件下，已制得了惰性气体的化合物，例如，氦化汞（ HgHe_{10} ）、氦化钨（ WHe_2 ）等。另外，在低温时，惰性气体有和水分子结合，生成水合物的倾向。例如，氙在 0°C 和一个大气压下；氪

^① 表中数据（除原子量）摘自戴安邦等编著的《无机化学教程》上册。

在 0°C 和 14.5 大气压下；氩在 0°C 和 150 大气压下；可以和水分子结合生成水合物。而氦和氖无论在几千或几百大气压下也不与水化合。

随着工农业生产和科学技术的发展，惰性气体越来越广泛地被应用到工业、国防和尖端科学等各方面。由于惰性气体很难和其他物质发生化学反应，所以在生产上也可作为优良的保护气。如，把氩气和氮气的混和气充在灯泡里，可使灯泡发光好，并延长使用寿命。又如，利用氩气作焊接精密零件时的保护气体，可以避免空气中氧气参加反应。用氦来代替平常空气组成中的氮制成人造空气，在潜水装置内用人造空气代替普通空气，能更好地保证潜水人员的呼吸。

在照明工程上，惰性气体具有广泛的应用。例如“人造小太阳”，这是一种新型的电光源——氙灯，它是在石英管内充入氙气制成的。我国的氙灯功率大，光度强，达到了世界先进水平。另外，用不同的惰性气体充入灯管里，通电后就可以产生不同颜色的光。例如，充入氖气发出红色光，充入氩气发出蓝色光，霓虹灯就是利用惰性气体的这种性质制成的。

习 题

1. 空气是由哪些物质组成的？
2. 根据惰性气体的原子结构，说明惰性气体的特性。
3. 说明惰性气体的用途。

第二节 氧 氧化还原反应

学习要求：

1. 掌握氧气的性质、制法和用途以及氧化物的意义和命名。
2. 牢固掌握氧化还原反应的实质。
3. 了解燃烧和催化剂的意义。

氧气是空气中的一个重要成分。空气中氧气约占21%体积。因为氧气是一种性质活泼的气体，所以空气的某些化学性质，实际上是氧气所表现出来的化学性质。

一、氧气的性质

氧气是无色、无味的气体。它比空气略重，在 0°C 和一个大气压下，每升空气重1.293克，每升氧气重1.429克。氧气在水中溶解的并不多，在 0°C 和一个大气压下，1体积水只溶解0.0491体积的氧气。在 20°C 和一个大气压下，1体积水则能溶解0.031体积的氧气。这对于水中的生物，是有重大意义的。

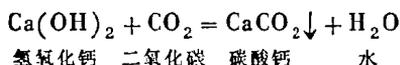
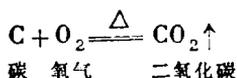
氧分子是由两个氧原子组成的。氧气冷却到 -182.96°C 时即可液化，变成淡蓝色液体。冷到 -218.4°C 时开始凝固。

氧气的化学性质很活泼，能和多种非金属及金属发生反应。

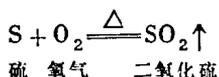
1. 氧气和非金属的反应：

例如，木炭在氧气里的燃烧：在一个燃烧匙中放一小块

木炭，将木炭加热到发红，伸进盛有氧气的集气瓶（收集氧气用的广口玻璃瓶）中，木炭就能剧烈地燃烧起来，发出白光，燃烧停止后，立刻向集气瓶中倒入一些澄清的石灰水（氢氧化钙），可以看到石灰水变浑浊。这证明木炭燃烧生成了二氧化碳（因为二氧化碳有遇到石灰水生成碳酸钙沉淀，使石灰水变浑浊的性质）。上述反应可以用以下化学方程式表示：

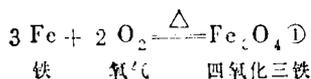


又如，硫（S）在氧气里的燃烧：取少量硫磺放在燃烧匙内，加热至硫磺燃烧，伸进盛有氧气的集气瓶。硫磺在氧气中燃烧发出蓝紫色火焰，并生成一种有强烈刺激性气味的二氧化硫（SO₂）气体。这个反应可以用下面的化学方程式表示：



2. 氧气和金属的反应：

把一根无锈细铁丝弯成螺旋状，一端紧系一段火柴梗。点着火柴梗，立刻伸进盛有氧气的集气瓶（瓶子里盛有少量的水，以防爆裂）中，铁（Fe）在氧气里剧烈地燃烧，火星四射。燃烧停止后，可以看到瓶壁和瓶底的水里有黑褐色的固体，反应中生成的这种黑褐色固体，叫做四氧化三铁（Fe₃O₄）。这个反应可以用以下的化学方程式表示：



氧气除和铁反应外，还能和绝大多数金属起反应(除金、铂少数几种外)，例如钠、镁等金属加热均能在氧气中燃烧。

从以上事实可以看出，氧气的化学性质非常活泼，它能与很多物质发生反应，反应时放出大量的热，有的会发生燃烧。由此可见，物质在空气里燃烧，实际上就是那种物质与空气里的氧气发生反应。

二、氧化物

由两种元素组成的化合物，如果其中一种元素是氧，这种化合物叫做氧化物。例如，二氧化碳(CO_2)、二氧化硫(SO_2)、四氧化三铁(Fe_3O_4)等都是氧化物。

在命名时，如果某元素与氧只能生成一种氧化物，那么这种氧化物就叫氧化某。例如，“ CaO ”叫做氧化钙，“ MgO ”叫做氧化镁。如果某元素能与氧生成几种氧化物，那么，这种元素显较低化合价的那种氧化物一般叫做氧化亚某，显较高化合价的那种氧化物就叫氧化某。例如，“ $\overset{+2}{\text{Fe}}\overset{-2}{\text{O}}$ ”叫做氧化亚铁，“ $\overset{+3}{\text{Fe}}\overset{-2}{\text{O}_3}$ ”叫做氧化铁或三氧化二铁，“ $\overset{+1}{\text{Cu}}\overset{-2}{\text{O}}$ ”叫做氧化亚铜，“ $\overset{+2}{\text{Cu}}\overset{-2}{\text{O}}$ ”叫做氧化铜。

三、氧化还原反应

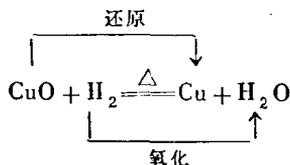
1. 氧化还原反应的一般概念

① 四氧化三铁的结构比较复杂，它的组成相当于 $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ，其中铁分别是 +2 价和 +3 价 ($\overset{+2}{\text{Fe}}\overset{-2}{\text{O}} \cdot \overset{+3}{\text{Fe}}\overset{-2}{\text{O}_3}$)。

物质与氧所起的化学反应，叫做氧化反应^①。在氧化反应中，与氧起反应的物质，我们说它被氧化了或者说它氧化了。例如，前面讨论过的氧气和碳、硫、铁等所起的反应都是氧化反应。在这些反应中，碳、硫、铁被氧化了或者说碳、硫、铁氧化了。

又如，把氧化铜（CuO）放在干燥试管的底部，把试管套在氢气发生器（参看第三章第四节）的导管上，让氢气通入片刻，排净试管中的空气，然后用酒精灯火，给放有氧化铜的试管加热，不久就看到，氧化铜逐渐由黑色变为光亮的红色，同时试管口有水滴生成。

通过上面的实验可以知道，氧化铜失去了氧，变成了红色的铜，氢气夺取了氧化铜里的氧，与之化合成水。这个反应可以用下面的化学方程式表示：



在上面的反应里，氧化铜（CuO）中的氧被氢气夺去了，氧化铜失去了氧变成了铜（Cu）。这种含氧化合物（如CuO）的氧被夺去的反应，叫做还原反应^②。如果对氧化铜和氢气全面分析，我们可以看出，氢气夺取了氧化铜中的氧使氧化铜还原成铜，或者说氧化铜被氢气还原成铜。但是，

① 这里只是针对着与氧化合的物质而言的，并不意味着这个反应中只有氧化反应。

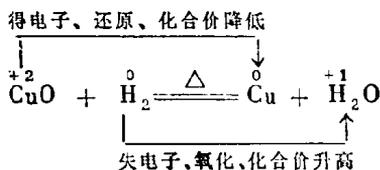
② 这里只是针对着CuO而言的，并不意味着这个反应中只有还原反应。

在同一反应里，氢气还与氧化合成水，发生了氧化反应，氢气被氧化了。这说明，氧化、还原在一个反应里同时发生，氢气被氧化了，氧化铜被还原了。我们把一种物质被氧化，同时另一种物质被还原的反应，叫做氧化还原反应。氧化和还原必然同时发生。

2. 氧化还原反应的实质

上面我们所讨论的氧化还原反应，是一个和氧化合以及氧被夺去的反应。那么氧化还原反应是否仅限于有氧参加的反应呢？氧化还原反应是否一定同时发生呢？只要认识了氧化还原反应的实质，上述问题就可以得到解决。下面，我们从原子结构观点，讨论氧化还原反应的实质。

仍以氧化铜被氢气还原成铜的反应为例来加以说明。其化学方程式为：



根据原子结构观点，我们知道，原子或离子失去电子化合价升高；得到电子化合价降低。

从上面氧化还原一般概念的讨论，我们说，在上面的反应里，氧化铜被还原成铜；氢气被氧化生成了水。

从电子得失和化合价的改变来看，在上面的反应里，氧化铜中+2价的铜（ $\overset{+2}{\text{Cu}}$ ）得到电子，化合价降低生成零价的铜（ $\overset{0}{\text{Cu}}$ ）；零价的氢（ $\overset{0}{\text{H}}_2$ ）失去电子化合价升高成为+1价氢（ $\overset{+1}{\text{H}}_2\text{O}$ ）。

结合以上两方面的讨论，可以知道：原子或离子失去电

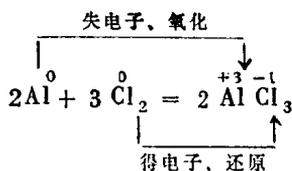
子（化合价升高）的作用叫做氧化；获得电子（化合价降低）的作用叫做还原，凡参加反应的物质有得失电子（或化合价改变）的化学反应都叫做氧化还原反应。

在氧化还原反应里，能获得电子的物质（表现出使其他物质氧化的能力）叫做氧化剂^①；能失去电子的物质（表现出使其他物质还原的能力）叫做还原剂。

对于上面的反应，我们可以说，氧化铜中+2价的铜（ $\overset{+2}{\text{Cu}}$ ）得到电子，被还原（或还原）成零价的铜（ $\overset{0}{\text{Cu}}$ ），氧化铜（或氧化铜中+2价的铜）为氧化剂；零价的氢（ $\overset{0}{\text{H}_2}$ ）失去电子，被氧化（或氧化）成+1价氢（ $\overset{+1}{\text{H}_2\text{O}}$ ），氢气为还原剂。

通过对氧化还原反应实质的讨论，我们知道，氧化还原反应不是仅限于有氧参加的反应，只要参加反应的物质有电子得失（或化合价改变）的化学反应，都是氧化还原反应。

例如，在氯气中加热金属铝的反应为：



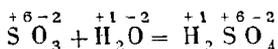
在这个反应里，没有氧参加，但有电子的得失（或化合价的改变），所以是氧化还原反应。其中零价的铝（ $\overset{0}{\text{Al}}$ ）失去电子氧化成+3价（ $\overset{+3}{\text{Al}}$ ）；零价的氯（ $\overset{0}{\text{Cl}_2}$ ）得到电子还原成-1价（ $\overset{-1}{\text{Cl}^-}$ ）。氯气为氧化剂；铝为还原剂。

^① 氧化剂、还原剂的得失电子，实际上是指该物质中所含的某种元素的原子或离子。但在习惯上氧化剂、还原剂是指含有这种元素的物质而言。

判断氧化还原反应中的氧化、还原，氧化剂、还原剂关系时，可按下列步骤进行：

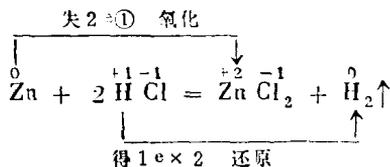
(1) 写出反应的化学方程式；

(2) 标出反应物和生成物中各元素的化合价，如果反应前后元素的化合价有改变，就是有电子得失，这反应就是氧化还原反应，否则就不是氧化还原反应。例如，三氧化硫 (SO_3) 与水作用生成硫酸 (H_2SO_4) 的化学方程式为：



从上式中可以看出，硫、氧、氢三种元素的化合价，反应前后都没有改变，因此这不是氧化还原反应。

(3) 画出电子得失符号，即可判断什么元素被氧化或被还原，什么物质是氧化剂或还原剂。例如，锌与盐酸（氯化氢溶于水形成）的反应中：



零价的锌被氧化成+2价，锌为还原剂。+1价的氢离子被还原为零价的氢，HCl是氧化剂，或更确切地说，+1价的氢离子是氧化剂。

从上面的讨论可以看出，一些物质（原子或离子）失去电子时，必须有另一些物质（原子或离子）获得电子。任何一种物质的氧化必定伴随着另一种物质的还原，氧化和还原

① e^- 代表电子， $2e^-$ 代表2个电子，箭头指的是氧化、还原产物。

必须同时发生，二者是矛盾的对立统一体。

广大劳动人民通过生产实践，对于氧化还原反应有了深刻认识。氧化还原反应理论在生产中已经得到了广泛的应用。例如，金属的冶炼、腐蚀和电镀，都是通过氧化还原反应来进行的。

四、燃烧与缓慢氧化

1. 燃烧 燃烧是一种常见的现象。例如，工厂中煤的燃烧、拖拉机中柴油的燃烧、节日晚上看到的焰火，都是燃烧现象。

燃烧的实质是灼热而发光的氧化反应。

我们若用火柴点燃气油，汽油立即燃烧起来。若是松节油，则需加热以后用火柴才能点燃。以上说明，汽油和松节油虽然都能够燃烧，但是它们所需要的温度条件是不相同的。在通常情况下，可燃物质开始燃烧时的温度叫做该物质的燃点（或着火点），象汽油、酒精等物质非常容易燃烧，如果使用、保管不妥往往容易引起火灾，因此，必须十分注意。

毛主席教导我们：“唯物辩证法认为外因是变化的条件，内因是变化的根据，外因通过内因而起作用。”物质的燃烧同样也是由这两方面决定的。例如，木炭和氧气相互作用发生燃烧，是由木炭和氧气的性质决定的。这是燃烧的内因。可燃物与空气的接触和可燃物的温度达到燃点以上，就是燃烧的外因。

2. 缓慢氧化 是不是所有氧化反应都很剧烈呢？不是的。有些氧化反应进行得非常缓慢，并且不象燃烧那样剧烈地发光、发热，这种氧化叫做缓慢氧化。缓慢进行的氧化过

程，根据被氧化物质的特点，称为生锈或腐烂等。

缓慢氧化过程里产生的热常常被忽视。这是因为缓慢氧化在短时间里产生的热不多，而且又逐渐散掉的缘故。

有些可燃性物质，象煤、木材、麦秸等若堆放不当，长期与空气中的氧进行缓慢的氧化作用，随着反应的进行，产生的热量又不能及时散掉，而使温度上升到该物质的着火点，引起燃烧，这种由于缓慢氧化而引起的自发燃烧，叫做自燃。因此，长期大量堆放柴草、麦秸、煤炭时，必须随时注意通风和散热。

我们掌握了缓慢氧化反应后，一方面可以抑制某些不利的氧化反应的进行，另一方面也可以利用缓慢氧化反应为工农业生产服务。例如，在金属表面上涂上油漆，使金属表面与空气隔离，可以防止金属的生锈，又如，酿造工业中利用食物和氧气的缓慢氧化反应进行发酵等。

五、氧气的用途

我们掌握了氧气的性质，就能有效地利用它为三大革命运动服务，氧气在工农业生产、科学技术等方面都有极为广泛的用途。

由于物质在氧气里燃烧比在空气里燃烧要猛烈得多，同时放出大量的热，所以在炼钢工业上采用纯氧顶吹炼钢法，这样可以提高炉温，加速冶炼过程，提高钢的质量和产量。在工业中也常用氧气和乙炔（电石气）生成的氧炔焰来焊接或切割金属。焊接金属用的氧炔吹管又叫焊枪。焊接时，乙炔和氧气分别进入焊枪，由阀门控制在管内混和。当在出口处点燃混和气体时，产生的火焰可高达 3000°C ，能把焊接处局部熔化，同时把金属焊条熔化填入金属的缝隙里，冷却后

金属就被焊接在一起了。利用这种方法焊接金属叫做气焊。

切割金属用的氧炔吹管又叫割枪，它比焊枪多了一个通入氧气的金属管，当金属被烧红时，即从此管通入更多的氧气，使金属氧化燃烧并吹散熔融的金属液，以达到切割的目的。用此法切割金属叫做气割。

此外，氧气还常用于医疗、高空航行、登山、潜水等方面，液态的氧还可用来造炸药，但是事物都是一分为二的，氧气对人类有好处，也有坏处。例如，由于氧气与金属容易发生化学反应，会使金属腐蚀；氧气和可燃物质发生燃烧，有时会造成火灾等。所以我们既要让氧气为人类服务，还必须和氧气的破坏作用作斗争。

六、氧气的制法

前面已经讲过，通直流电使水分解，可以制得氧气和氢气，这种方法制得的氧气是较纯的。

在实验室里，常用受热易分解的某些含氧的化合物来制取氧气。如高锰酸钾（又名灰锰氧，分子式为 KMnO_4 ）或氯酸钾（ KClO_3 ）等。

用氯酸钾制取氧气的方法是：在试管中加入适量干燥的氯酸钾固体和少量灼烧过的二氧化锰固体，混和均匀后，用带有导管的塞子塞紧管口，按图 3—2 装置连接好。

将广口瓶内先装满水，倒置在水槽中，加热试管，把制出的氧气通过导管引入广口瓶中，瓶中的水因气体的导入而被排出，气体就被收集在瓶中^①。这种收集气体的方法叫排

^① 实验做完后，应该先把导管从水里拿出，然后再移去酒精灯，以防 水倒流。

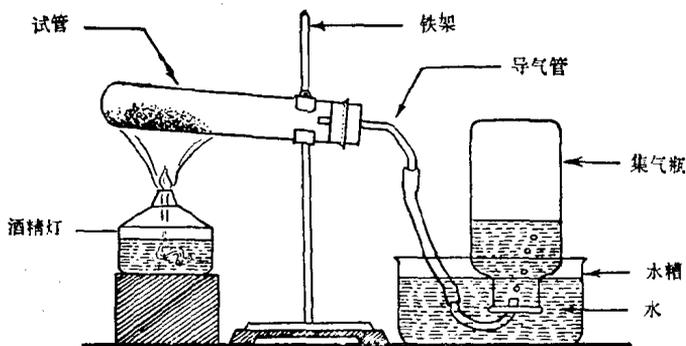
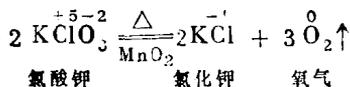


图 3-2 制备和收集氧气的装置

水取气法。

这个反应的化学方程式为：



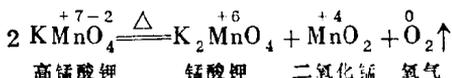
在氯酸钾未加热前加入少量的二氧化锰，再加热分解，此反应进行的速度，比单用氯酸钾加热的反应速度大大加快，而在反应后，原加入的二氧化锰的重量和性质与反应前相同，二氧化锰在氯酸钾的分解反应中，本身没有发生变化，它只起了促进氯酸钾分解的作用。

凡能够改变其它物质的反应速度，而本身的重量和化学性质在反应前后并不改变的物质，叫做催化剂（工业上叫触媒）。催化剂的这种作用，叫做催化作用。二氧化锰在氯酸钾分解反应里所起的作用就是一种催化作用。催化剂在化工生产中占有极为重要的地位。

根据氧化还原理论，分析上面的反应：氯酸钾中+5价

的氯得到电子，被还原（或还原）成 -1 价，是氧化剂；氯酸钾中 -2 价的氧失去电子，被氧化（或氧化）成零价，是还原剂。上述反应是氧化还原反应。

实验室里也常用高锰酸钾加热分解制取氧气。其反应可以用下面的化学方程式表示：



根据氧化还原理论分析上面的反应：两个高锰酸钾分子中有两个 $+7$ 价的锰， $+7$ 价的锰得到电子被还原，其中一个的化合价从 $+7$ 价降低到 $+6$ 价；另一个从 $+7$ 价降低到 $+4$ 价， $+7$ 价锰是氧化剂；高锰酸钾中的 -2 价的氧失去电子被氧化，化合价从 -2 价升高到零价是还原剂。上述反应也是氧化还原反应。

工业上是利用空气为原料制取氧气的。空气是氧气、氮气等气体的混和气体，要将氧气直接从气态空气中分离出来是比较困难的。在氧气生产过程中，首先把空气转化为液态空气，然后再根据液态氧（沸点 -182.97°C ）、液态氮（沸点 -195.8°C ）和其他成份的沸点不同把它们一一分开。

为了运输方便，通常将氧气以 150 大气压压缩在钢筒（氧气瓶）中，外壳涂以天蓝色作为标记，供各部门使用。

习 题

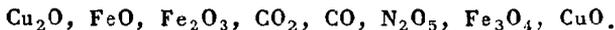
1. 冬季为什么要把养鱼池上的覆冰打开一些通口？
2. 说明氧气有什么用途。
3. 写出下列反应的化学方程式。

木炭在氧气中燃烧；硫在氧气中燃烧；铁在氧气中燃烧；二氧

化碳使石灰水变浑浊。

4. 什么叫氧化物? 举例说明。

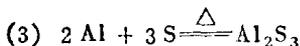
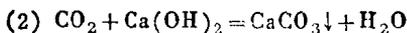
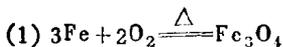
5. 写出下列氧化物的名称。



6. 说明氧化、还原反应的实质。什么是氧化剂? 什么是还原剂? 举例说明。

7. 有人说在氧化、还原反应中, 容易得到电子的物质是还原剂; 容易失去电子的物质是氧化剂, 这个说法是否正确? 为什么?

8. 指出下列反应中哪些是氧化还原反应, 哪些是氧化剂; 哪些是还原剂; 并说明原因。



9. 电流通过电灯泡内的灯丝时, 灯丝发光发热, 这是不是燃烧现象? 为什么?

10. 用“内因”和“外因”的辩证唯物主义观点, 解释物质的燃烧现象。

11. 什么叫催化剂? 举例说明。

12. 在实验室中利用高锰酸钾分解制取氧气, 现要获得0.5升氧气(已知: 在此实验条件下, 一升氧气重1.3克)问最少需要高锰酸钾多少克? (答: 6.42克)

第三节 水

学习要求：

1. 认识水的性质。
2. 了解氧化物的水化物、结晶水、结晶水合物和风化的意义。

水是人们生活和工农业生产中不可缺少的物质。在工业方面，无论是发电、采煤、冶金、石油、化工、造纸、纺织、印染、食品等工业各部门，每天都需要大量的、符合于一定规格的工业用水。在农业方面，水对确保农业丰收，也有着极其重要的作用。

一、自然界中的水

水是分布最广的物质，约占地球表面四分之三。地球上水的总重量估计有 2×10^{18} 吨，它形成海洋、河川、湖泊、积雪及冰地。此外，在大气中有很多呈气态的水蒸气。在一切生物体中也有很多水，动物体中平均含有70%左右的水分，新鲜植物体中水约占80—90%。

自然界里存在的水叫做天然水。天然水一般都是不纯净的，如雨水内溶有二氧化碳、氮、氧等气体，并带有灰尘。井、泉、河及湖水中含有可溶性的物质，如钙、镁以及钠的化合物。

要除去水中的可溶物，我们可用蒸馏的方法，将蒸出的水蒸气冷凝成液态的水，这种水叫做蒸馏水。蒸馏水很纯

净，可以用于医药等方面。

城市中供应的自来水，一般是将天然水经过凝聚沉降、澄清、过滤和消毒（通常是用氯气溶入水中生成的氯水杀菌）等步骤，消除了天然水中的悬浮杂质和微生物后得到的。

二、水的性质

1. 纯净的水是无色、无味、无嗅的透明液体，几乎不导电。在一个大气压下，水的沸点为 100°C ，凝固点为 0°C 。水的密度在 4°C 时最大，1 毫升（1 升等于 1000 毫升）水重 1 克。这是因为，液态水中除含有简单水分子 H_2O 外，同时还含有由简单的水分子结合而成的较复杂的水分子 $(\text{H}_2\text{O})_x$ ，其中 $x=2, 3 \dots$ 等。这种由简单分子结合成比较复杂的分子，而不引起物质的化学性质改变的现象，叫做分子的缔合。水分子的缔合程度随着温度而变化，在平常液态水中，存在着二分子体 $[(\text{H}_2\text{O})_2]$ 或三分子体 $[(\text{H}_2\text{O})_3]$ ，如图 3—3 所示。

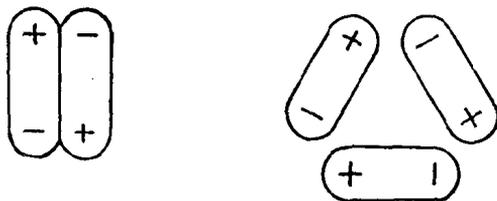


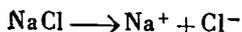
图 3—3 极性水分子的缔合

当水在 4°C 时，因为大部分三分子体 $[(\text{H}_2\text{O})_3]$ 转化为二分子体 $[(\text{H}_2\text{O})_2]$ ，此时水分子排列最为紧密，所以密度也最大。如果进一步加热，简单水分子 H_2O 愈来愈多，而

且分子的热运动增强，扩大了分子间的距离，使水的体积增大，密度减小。如果降低温度，水分子的缔合程度增加，到 0°C 时，全部水分子结合在一起成为一个结构中有较大空隙的冰的结构，因此，水结冰时体积增大，密度减小。

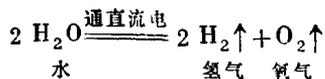
2. 水具有能溶解许多物质的能力。某物质溶解在水中形成的均匀混合体，叫做某物质水溶液^①（简称某物质溶液）。例如，我们把少量食盐放到水里，搅拌后食盐会慢慢地在水里溶解，最后全部溶解，形成完全澄清透明的液体，叫做食盐水溶液，简称食盐溶液。

由于极性水分子的吸引，有些物质在水的作用下，减弱了组成物质粒子之间的吸引力，离解成自由移动的离子，这个离解过程叫电离^②。例如，氯化钠、氢氧化钠和盐酸在水溶液中的电离可以用下面的电离方程式（电离式）表示：



3. 水对热的稳定性很大，在 2000°C 以上，才有百分之几分解，生成氢气和氧气。

4. 通直流电可使水分解成氢气和氧气，其反应方程式为：



通电使水分解，生成的氢气和氧气的体积比是 2 : 1

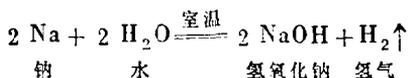
① 参看第六章第一节。

② 参看第七章第一节。

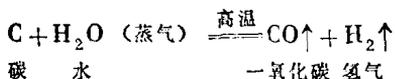
(见图 1—1)。

5. 在常温时，钠、钙等活泼金属可以与水剧烈反应而放出氢气。

例如，钠与水反应的化学方程式为：

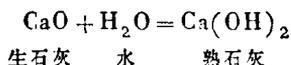


其余一些金属和非金属则在高温时才与水起反应。例如，在高温下水和炽热的炭发生反应，生成水煤气（一氧化碳和氢气的混和气体），其反应方程式为：

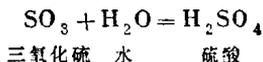


水煤气是一种很好的气体燃料，同时还是合成许多重要化工产品的原料。

6. 水能与许多金属和非金属氧化物反应。例如，生石灰与水反应生成熟石灰，其反应方程式为：



又如，三氧化硫与水反应生成硫酸，其反应方程式为：

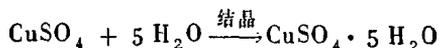
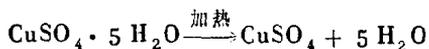


氧化物与水化合的生成物，为此氧化物的水化物。例如，氧化钙与水化合生成氢氧化钙，氢氧化钙就是氧化钙的水化物，或者说氧化钙的对应水化物是氢氧化钙。另外，水能与许多盐类起作用①。

① 参看第七章第五节。

有些化合物的晶体中含有一定量的水，叫做结晶水，在分子式中特别标明，但是在方程式中通常并不表出。

若把一块蓝色硫酸铜 ($\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$) 晶体，放在小蒸发皿中加热，可以看见有蒸气散出，同时蓝色硫酸铜渐渐变成无水硫酸铜 (CuSO_4) 的白色粉末，再加热水使它溶解，就得到蓝色的溶液，把这溶液蒸浓冷却，硫酸铜又形成蓝色晶体而析出。上述变化可用下式表示：



上式中“ $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ ”表示一个结晶硫酸铜分子中含有五个分子的结晶水。含着结晶水的晶体物质叫做结晶水合物，例如，蓝色结晶硫酸铜就是硫酸铜的结晶水合物。

结晶水在各种结晶水合物中结合的牢固程度相差很大。其中有的结合很不牢固，甚至在常温时便失去了结晶水，如将市上买来的碱块 $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (即碳酸钠的结晶水合物)，放在空气中很容易失去结晶水，表面变成白色，时间放久会渐渐分散成为粉末。这种在常温时，结晶水合物在空气中失去水的现象叫做风化。但是有一些结晶水合物，例如 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ，需要加热才能使结晶水失去。

习 题

1. 说明水有哪些性质？
2. 怎样制得水煤气？水煤气的成分是什么？它有什么用途？
3. 写出氧化物 SO_3 和 CaO 的对应水化物的分子式。

4. 解释下列名词:

结晶水, 结晶水合物, 风化.

第四节 氢

学习要求:

掌握氢气的性质、制法和用途.

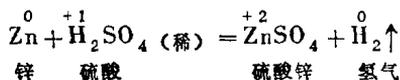
早在十五、十六世纪的时候, 人们就知道, 把稀硫酸倒在某些金属上, 会发生一种可燃性气体, 当时人们就叫它“可燃性空气”. 直到十八世纪中期, 人们才知道, 这根本不是空气, 而是一种新的物质. 这就是我们要学习的氢气.

氢是组成水的元素之一. 石油和天然气中也含有氢.

一、氢气的制法

实验室中用稀硫酸或稀盐酸与金属起反应, 来制取氢气. 金属通常都用锌粒.

图 3—4 是实验室里制备氢气的装置. 在试管里放入锌粒以后, 把装置连接好. 向长颈漏斗里加入稀硫酸 (把浓硫酸慢慢地倒入四、五倍容积的水中, 同时用玻璃棒搅和, 而不可把水倒入浓硫酸中). 要注意长颈漏斗一定要插到液面以下, 防止产生的氢气从长颈漏斗逸出. 放出的氢气 (应按第一章第二节先检查纯度) 用排水取气法收集在集气瓶里. 这个反应可以用下面的化学方程式表示:



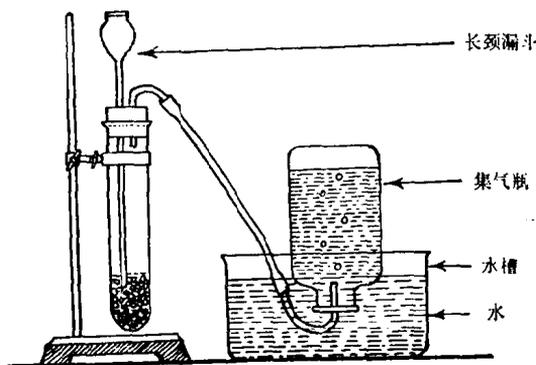


图 3—4 实验室制取氢气

制取氢气，也可以用稀盐酸代替稀硫酸，用铁代替锌。

上面的反应是氧化还原反应。锌从零价失去电子，被氧化成为+2价锌离子(Zn^{+2})，锌是还原剂。稀硫酸中+1价的氢离子(H^{+1})得到电子，被还原成为零价的氢气(H_2)，稀硫酸或更确切地说稀硫酸中+1价的氢离子为氧化剂。

工业上常用电解水制取氢气。此外，还可以从水煤气、天然气中获得氢气。电解食盐水也可得到氢气。

二、氢气的性质

1. 物理性质：氢气是一种无色、无味、无嗅的气体，比空气轻。在 $0^{\circ}C$ 、一个大气压下，1升氢气约重0.09克，极难溶于水，所以制备氢气时可以用排水取气法收集。

在加大压力和降低温度的条件下，氢气可以变成无色的液体，其沸点是 $-252.8^{\circ}C$ 。平常把氢气压缩在钢筒内，供实验室使用。

用下面的实验可以证明氢气比同体积的空气轻。

取同样大小的两个烧瓶，一个放在天平的一边，一个倒挂在天平的另一边。用砝码使天平平衡。然后把氢气缓缓地通入倒挂的烧瓶，让它充满氢气（见图3—5）。这时，倒挂烧瓶的一边向上升起，说明重量比原来减轻了。

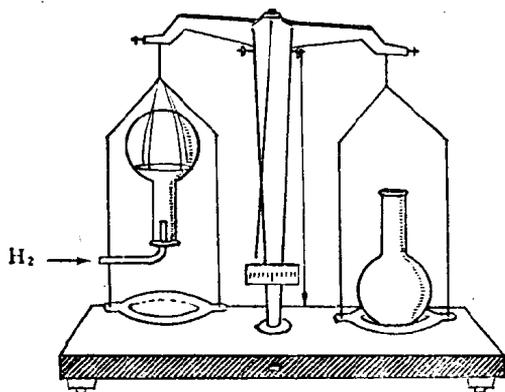


图 3—5 充满氢气的烧瓶比充满空气的烧瓶轻

氢气和同体积的空气相比，氢气的重量约是空气的 $\frac{1}{14.5}$ 。因此可以用排空气法来收集氢气。集气容器必须倒立（见图3—6）。这叫做向下排气法。充满氢气的容器必须向下倒放，以防氢气散逸。

2. 化学性质：

(1) 氢气的可燃性 对制备出的氢气首先应进行纯度检查（参看第一章第二节检查氢气纯

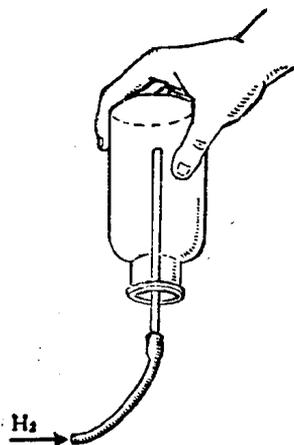
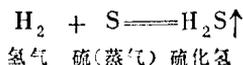
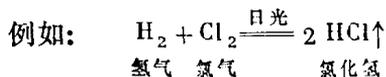


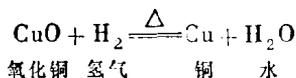
图 3—6 用排空气法收集氢气

混和气体称为爆鸣气。

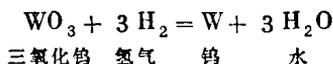
除氧气外，在一定的条件下，氢气还能和许多单质如氯气(Cl_2)、氮气(N_2)等直接起反应，生成各种化合物。



(2) 氢气是还原剂 氢气不但能够跟氧气起反应，而且能够与某些氧化物里的氧起反应。在反应中氢气从零价失去电子，被氧化成为+1价。氢气是还原剂，如氧化铜被氢气还原成铜的反应，即：



利用氢气的还原性(使其他物质还原的性质)，可以制取许多贵重金属。例如使氧化钨(WO_3)还原可以提炼钨。



三、氢气的用途

由于氢气燃烧时能放出大量的热，故氢气可作为燃料使用。如液氢可做火箭、导弹发射时使用的液体燃料。氢气在纯氧中燃烧的火焰叫做“氢氧焰”，它的温度高达 $2500 \sim 3000^\circ\text{C}$ 以上，可以熔化铂和其他熔点很高的金属，并且可以截断钢板等，另外还可用来加工各种石英制品。利用氢气的还原性，可以制取许多贵重金属。例如国防工业、电光源工业上常用的钨、钼以及电子工业的重要材料硅，都是用氢气作还原剂制得的。

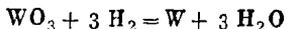
另外，氢气还是制取氨、盐酸等产品的重要化工原料。利用氢气比空气轻的性质，填充气球。氢气还可以用作冷却剂。

习 题

1. 三个瓶里分别盛有空气、氧气和氢气，怎样辨别哪个瓶里盛的是哪一种气体？

2. 氢气有哪些用途？这些用途是由它的哪些性质决定的？

3. 用氧化还原理论分析下列反应，指出哪一种物质被氧化；哪一种物质被还原，哪一种物质是氧化剂；哪一种物质是还原剂。



4. 电光源工业需要的金属钨，是用氢气还原氧化钨（ WO_3 ）得来的，问用174公斤的氧化钨可制出多少公斤钨？（原子量 $\text{W} = 183.9$ ）

（答：138公斤）

第四章 碱 酸 盐

自然界中存在着成千上万种物质，这些物质虽然各有不同的物理性质和化学性质，但是根据这些物质分子组成的特点，我们可以将它们归结为两大类。

一类是在它们的分子组成中不含碳的物质，称为无机物。研究无机物的化学，叫做无机化学。

另一类物质是分子组成中含碳的化合物，叫做有机化合物，简称有机物，研究有机物的化学叫做有机化学。

有机物与无机物的划分并不是绝对的，有些化合物如一氧化碳(CO)、二氧化碳(CO₂)、碳酸钙(CaCO₃)等，它们的分子中虽然都含有碳，但由于它们的结构和性质都与一般无机物相似，所以它们仍然属于无机物。另外，在一定条件下，无机物和有机物也可以互相转变，人们用无机物作原料可以合成有机物。

碱、酸、盐的主要产品是三酸，即盐酸(HCl)、硫酸(H₂SO₄)、硝酸(HNO₃)；二碱，即氢氧化钠(NaOH)、碳酸钠(Na₂CO₃)。它们不仅在化学工业中占有十分重要的地位，而且也是发展其他工业不可缺少的原料。例如，冶炼金属、精炼石油、塑料、纺织、印染、造纸、医药等都离不开它们。

在旧中国，碱、酸、盐工业非常落后。解放后，我国人民在伟大领袖毛主席的英明领导下，发扬自力更生、艰苦奋斗

斗的革命精神，使我国碱、酸、盐工业的生产水平有了很大的提高。下面，我们首先介绍碱、酸、盐的个性，在此基础上进一步讨论它们的共性。

第一节 碱

学习要求：

1. 了解烧碱的使用、保管和性质。
2. 掌握碱类的通性、定义和命名。
3. 了解碱性反应、指示剂、中和反应和复分解反应的意义。

碱类一般都是固体，它们的颜色多不相同。例如氢氧化钠(NaOH)、氢氧化钾(KOH)和氢氧化钙 $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ 都是白色的，氢氧化铜 $[\text{Cu}(\text{OH})_2]$ 是蓝色的，氢氧化铁 $[\text{Fe}(\text{OH})_3]$ 是红褐色的。大多数的碱类都不溶解于水，常见的能溶解于水的碱有氢氧化钠和氢氧化钾等。腐蚀性很强的碱叫做苛性碱，例如氢氧化钠又叫苛性钠，氢氧化钾又叫苛性钾。碱类的水溶液具有涩味和滑腻性。

一、氢氧化钠

氢氧化钠俗名烧碱，又名火碱，是重要的化工原料。

若用镊子夹取一小块（约0.5克）氢氧化钠放入盛有约2毫升水的试管中，经振荡，氢氧化钠很快地溶解，此时用手指触摸试管外壁，可以感到溶液的温度升高。

若用镊子夹取一小块氢氧化钠放在玻璃片上，在空气中

暴露片刻，可以看到氢氧化钠逐渐潮解^①。

通过上面的实验可知，氢氧化钠是一种白色固体，极易溶解于水，溶解时放出大量的热，它有很强的腐蚀性，能腐蚀皮肤和衣服。因此，使用氢氧化钠或它的溶液时，必须十分小心，如果不慎滴在衣服或皮肤上，必须立即用水洗净，然后用3%硼酸(H_3BO_3)溶液(100克溶液中含硼酸3克)冲洗。

氢氧化钠暴露在空气里，很容易吸收空气里的水分，并逐渐潮解。同时，氢氧化钠也会不断地吸收空气中的二氧化碳(CO_2)形成碳酸钠(Na_2CO_3)而变质。因此氢氧化钠必须保存在密闭的容器中，以防受潮变质。

关于氢氧化钠的性质，可以通过下面的实验来了解。

1. 氢氧化钠溶液与指示剂的反应

取一只试管，加入约10毫升水，然后加入一小块(约0.2克)氢氧化钠，用玻璃棒搅和使其溶解，制成氢氧化钠溶液。

在另一只试管中倒入少量上面制成的氢氧化钠溶液，滴入几滴紫色石蕊试液或投入一小块红色石蕊试纸，可以看出氢氧化钠溶液使紫色石蕊试液变成蓝色或使红色石蕊试纸变蓝色。使红色石蕊试纸变成蓝色的作用叫做碱性反应。若溶液具有使红色石蕊试纸或紫色石蕊试液变蓝的性质，就说这种溶液具有碱性，或者说这是一种碱性溶液。反之，若溶液具有使蓝色石蕊试纸或紫色石蕊试液变红的性质，就说这种

^① 极易溶解的物质容易从空气中吸收水分而变潮湿，甚至渐渐溶解在所吸收的水中，这种现象叫做潮解。

溶液具有酸性，或者说这是一种酸性溶液。不呈酸性或碱性的溶液叫做中性溶液。石蕊在中性溶液中呈紫色。

象石蕊这类化合物，根据它自身颜色的改变来指示溶液的某些性质，这类物质叫做指示剂。指示剂大都是一些复杂的有机化合物，最常用的指示剂有石蕊、酚酞和甲基橙。

石蕊是紫色固体，溶于水，其水溶液呈紫色，称为石蕊试液。凡称石蕊试液而不指明颜色的都是指紫色的石蕊试液。蓝色石蕊试纸或红色石蕊试纸是在石蕊溶液里稍加碱或酸，然后用纸浸蘸、晾干而制成。

酚酞是白色的固体，能溶于酒精，实验室中所用的酚酞试液是把酚酞溶于酒精中制成的。

甲基橙是橙红色固体，溶于水，其水溶液呈橙黄色。

2. 氢氧化钠与酸^①反应生成盐^②和水

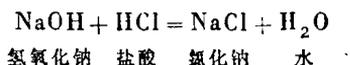
往一支试管中倒入约3毫升氢氧化钠溶液，然后滴入几滴石蕊试液，使溶液变蓝色，再逐滴滴入稀盐酸（取一只小烧杯，加入约10毫升水，然后慢慢滴入约1毫升浓盐酸，用玻璃棒搅和均匀即得稀盐酸），同时不断地振荡试管，一直加到溶液变紫色。取几滴溶液放到玻璃片上，加热使溶液蒸干，可以得到白色的固体食盐(NaCl)。

在上面的实验里，碱与酸起反应，在石蕊试液恰好显紫色的时候，说明溶液不呈酸性；也不呈碱性；而呈中性。也

① 凡是在水溶液中能电离，而且生成的阳离子全部是氢离子(H^+)的化合物叫做酸。酸电离后形成阴离子的原子或原子团叫做酸根。

② 凡在电离时，生成金属阳离子与酸根阴离子的化合物叫做盐，例如硫酸钠(Na_2SO_4)。

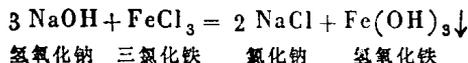
就是说，此时碱和酸恰好完全作用没有剩余，反应生成了盐和水。其反应可以用下面的反应方程式表示：



凡是碱和酸起反应，生成盐和水的化学反应，叫做中和反应。

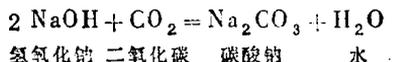
中和反应在工农业生产中有着广泛的应用。例如，石油的加工就需要用氢氧化钠除去酸性物质。农业上利用熟石灰〔Ca(OH)₂〕来中和酸性较强的土壤，使酸性消灭或减弱。胃酸过多时，可以用氢氧化铝中和过量的酸等等。这些都是中和反应原理的具体应用。

3. 氢氧化钠能与盐反应，生成另一种新盐和新碱。例如：



在上述反应中，氢氧化钠分子中的钠原子和三氯化铁分子里的铁原子相互交换了位置，结果生成氯化钠（新盐）分子和氢氧化铁（新碱）分子。象这样两种化合物相互交换成分，生成另外两种新化合物的反应，叫做复分解反应。

4. 氢氧化钠能与某些非金属氧化物（如CO₂）起反应。例如：



在工业生产中，氢氧化钠的用途也很广泛，除可以用来作干燥剂和中和过量的酸外，它还可以跟油脂反应制造肥皂。纺织、印染工业上，除去纤维素表面的油脂，电镀时除

去镀件表面的油污也都用氢氧化钠。利用浓碱溶液溶解纤维素的性质，可制造粘胶人造丝。在精炼石油、合成洗涤剂、冶金、造纸、塑料、橡胶、医药等方面也要用大量的氢氧化钠。

二、碱的通性

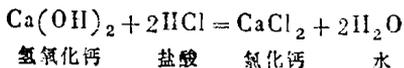
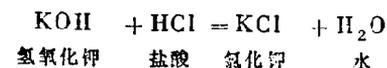
以上我们认识了氢氧化钠的个性，下面再进一步认识碱类物质的共同性质。

除氢氧化钠外，工农业生产上常用到的碱类还有氢氧化钾(KOH)、氢氧化钙[Ca(OH)₂]和氨水^①等。

用这些化合物代替氢氧化钠，重做上述与指示剂反应和与酸反应的实验，可以看到这些化合物的性质和氢氧化钠相似。各物质之间许多相似的性质，叫做通性。归纳碱的通性有以下几点：

1. 碱类的水溶液具有涩味和滑腻性。
2. 可溶于水的碱，在水溶液里能使红色石蕊试纸变蓝（碱性反应）。
3. 碱类和酸起中和反应，生成盐和水。

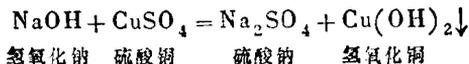
例如：



4. 可溶于水的碱能和盐反应，生成另一种新盐和新碱。

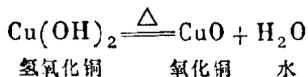
^① 氨水的分子式常用 NH₃·H₂O 来表示。习惯上，人们把氨水叫做 氢氧化氨 (NH₄OH)。

例如： 碱 + 盐 = 盐 + 碱



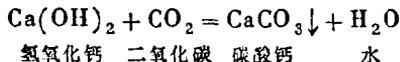
5. 不溶性碱大都是不稳定的，受热容易分解，生成金属氧化物和水。

例如：



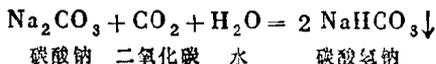
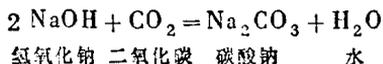
6. 碱类能和非金属氧化物起反应，生成盐和水。

例如，若用玻璃管向澄清的石灰水内吹气，则因有碳酸钙生成而使石灰水变混。其反应方程式为：



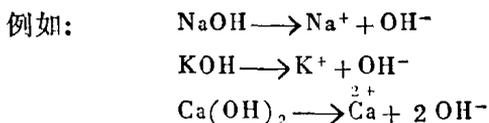
因此，常用石灰水是否变混浊来鉴别二氧化碳是否存在。

近年来，我国工人阶级经过反复实践，利用废碱液吸收 CO_2 （石灰窑窑气、烟道气等）制造出了纯碱（ Na_2CO_3 ）及小苏打（ NaHCO_3 ）。其反应方程式为：



纯碱和小苏打是重要的化工产品，在工农业生产和日常生活中有着广泛的用途。

碱类为什么有以上共同的性质呢？这是因为当碱类物质溶于水时，都或多或少地电离出氢氧根离子（OH⁻）的缘故。



按照电离观点，我们把在电离时所生成的阴离子全部都是氢氧根离子的一类化合物叫做碱。

因为氢氧根为 - 1 价，所以某碱分子中氢氧根的个数，就等于组成该碱分子的某金属的化合价数目。例如，氢氧化钠（NaOH）分子中只有一个氢氧根，所以钠为 + 1 价，氢氧化钙〔Ca(OH)₂〕分子中有两个氢氧根，所以钙为 + 2 价，氢氧化铝〔Al(OH)₃〕分子中有三个氢氧根，所以铝为 + 3 价。

三、碱的命名和分类

碱的命名是根据氢氧根和金属元素的名称，叫做氢氧化某金属。例如，Ca(OH)₂叫做氢氧化钙，Cu(OH)₂叫做氢氧化铜，如果某金属具有可变化合价，那么把显示高价金属元素的碱叫做氢氧化某金属；把显示低价的金属元素的碱叫做氢氧化亚某金属。例如，铁的化合价一般表现为 + 3 价和 + 2 价，在 Fe(OH)₃ 分子中有三个氢氧根，铁为高价（+ 3 价），所以叫做氢氧化铁，在 Fe(OH)₂ 分子中，有两个氢氧根，铁为低价（+ 2 价），所以叫做氢氧化亚铁。

根据碱类分子式中含有氢氧根个数的多少，还可以分成一价碱、二价碱等。例如，NaOH 中只有一个氢氧根是一价碱，Ca(OH)₂ 中有两个氢氧根是二价碱等。

不同的碱，碱性的强弱也不同，在相同条件下，电离出的氢氧根离子愈多的碱，则碱性愈强。例如氢氧化钾、氢氧化钠是强碱；氢氧化钙、氢氧化镁是中强碱；氢氧化铁、氨水是弱碱。

习 题

1. 接触和存放氢氧化钠时应注意哪些事项？为什么？
2. 什么是碱性反应？什么是指示剂？以石蕊试液的变色情况，说明什么是碱性溶液、酸性溶液和中性溶液。
3. 什么叫中和反应？举例说明中和反应在生产中的应用。
4. 什么叫复分解反应？举例说明。
5. 说明利用废碱液制造纯碱 (Na_2CO_3) 的原理。
6. 碱类物质有哪些相似的化学性质？为什么？
7. 写出下列碱类的分子式：
氢氧化铁、氢氧化亚铁、氢氧化镁、氢氧化铜、氢氧化铝、熟石灰、火碱、氨水。

第二节 酸及金属活泼性顺序

学习要求：

1. 掌握浓硫酸、稀硫酸、盐酸和硝酸的性质以及使用浓硫酸时应注意的事项。
2. 了解酸性反应和置换反应的意义。
3. 理解金属活泼性顺序表的意义，并掌握其应用。
4. 掌握酸的通性、定义、分类和命名。

一、硫酸的性质

硫酸的分子式为 H_2SO_4 。市上出售的纯净的浓硫酸（约含 98% 的 H_2SO_4 ）是一种无色粘稠的油状液体，不易挥发，没有气味。溶有过量三氧化硫的硫酸叫做发烟硫酸（ $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot x\text{SO}_3$ ）①。

1. 浓硫酸的性质和用途

（1）浓硫酸的吸水性

浓硫酸与水混和时，硫酸分子很容易和水分子结合，形成一系列稳定的水合物（ $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ），并在结合时放出大量的热。因此浓硫酸具有强烈的吸水性，工业上常用它作干燥剂。

若取试管一支，用滴管向试管内加水十滴，然后用另一滴管，再缓缓加入浓硫酸十滴，随滴随摇，用手指触摸试管的外壁，可以感觉到溶液的温度升高。

把浓硫酸慢慢倒入四、五倍容积的水中，同时用玻璃棒搅和均匀，即得稀硫酸。硫酸易溶于水，并放出大量的热。如果把水倒进浓硫酸，因为水比硫酸轻，它浮在硫酸上，浓硫酸溶解的时候放出的热会使水立刻沸腾，能使浮在硫酸液面的一部分水汽化，连同硫酸液滴一起突然向四周飞溅。为了防止发生事故，在稀释硫酸的时候，必须把浓硫酸慢慢地倒在水里。在这种情况下，浓硫酸先沉到水底，再分散到液体的各个部分，产生的热均匀地传递给整个溶液，溶液的温度慢慢升高，不会使水迅速沸腾，也就不会使酸溶液从容器里溅出来。因此，要牢牢记住，不要把水倒进浓硫酸。

① 参看第九章第二节接触法制硫酸。

(2) 浓硫酸的脱水性

浓硫酸不仅能吸水，而且具有强烈的脱水性，能使某些有机物如纸张、木材、棉布、蔗糖等脱水碳化。

例如，取一块纸片或布条，滴上两滴浓硫酸，可以看到滴有浓硫酸的部分变黑。

这是因为纸和布是由碳、氢、氧三种元素组成的，其中氢、氧比例是2:1，和水的组成相同，浓硫酸不但直接吸水，而且能按水的组成夺取这些有机物分子里的氢原子和氧原子而使它们发生碳化现象而变黑。又如，把浓硫酸注入盛有蔗糖(C₁₂H₂₂O₁₁)的容器内，蔗糖即碳化。

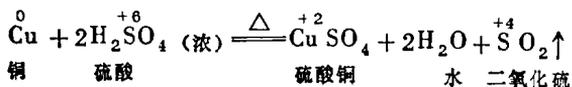


所生成的碳一部分又被浓硫酸氧化，生成二氧化碳，所以有大量的泡沫溢出。

(3) 浓硫酸的氧化性

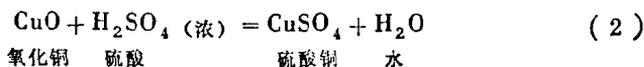
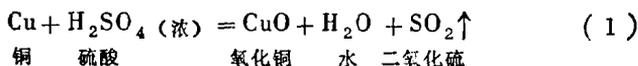
浓硫酸的氧化性，是指浓硫酸具有氧化其他物质的能力。

若取试管一支，滴入4~5滴浓硫酸，投入1~2小块铜片，小心加热试管，可以闻到带刺激性的二氧化硫(SO₂)气味。继续加热到反应停止时，让试管冷却，加两倍的水，可以看到试管中液体变成蓝色，这表示有硫酸铜(CuSO₄)生成。这是因为，浓硫酸是强氧化剂，铜和热的浓硫酸作用时，有以下氧化还原反应发生：

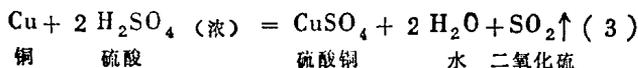


在上面的反应里，铜失去电子从零价变为+2价，铜被氧化，铜是还原剂。参加反应的两个分子浓硫酸中，一个分子浓硫酸中+6价的硫得到电子，变为+4价，+6价的硫被还原，浓硫酸^①是氧化剂，或更确切地说，浓硫酸中+6价的硫是氧化剂。

上式所代表的反应，实际上是分下列几个步骤进行的：



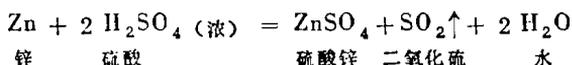
(1)(2)两式合并即得：



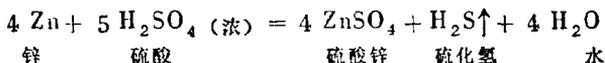
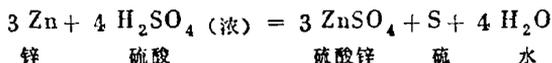
浓硫酸和铜共同加热时，铜被浓硫酸氧化成氧化铜(CuO)，浓硫酸中+6价的硫被还原成二氧化硫(SO₂) [见(1)式]。氧化铜是中间生成物，它继续和浓硫酸反应，生成硫酸铜(CuSO₄)和水[见(2)式]。把上面(1)、(2)两个化学方程式合并，消去中间生成物，可以得到总的化学方程式(3)，这个化学方程式中，只包括反应物和最后生成物。利用上述反应可以制得硫酸铜。当加热时，浓硫酸能同样地和其他许多金属发生类似的氧化还原反应。随着金属活泼性的不同，H₂SO₄可被还原成二氧化硫(SO₂)、

^① 参加反应的两个分子浓硫酸中，只有一个分子作为氧化剂，另一个分子起非氧化还原作用，起非氧化还原作用的酸分子中的元素(或根)的化合价，反应前后没有改变。

硫 (S) 或硫化氢 (H₂S)。例如，锌与浓硫酸的反应：

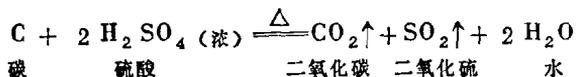


由于锌的活泼性，同时还进行下列反应：



应该指出：在讲到含氧酸^①的氧化作用时，通常不是指酸中氢离子的氧化作用，而是指氢、氧以外的那一元素的氧化作用。例如，在浓硫酸中，是指+6价的硫的氧化作用。

浓硫酸不仅能氧化金属，也能氧化一些非金属。例如，把浓硫酸和木炭一同放在试管里加热时，碳被氧化成二氧化碳，而硫酸被还原成二氧化硫。



浓硫酸在常温下性质不活泼，甚至对于铁和铝这样的金属也几乎不起反应。这是因为，浓硫酸会使这些金属表面生成一层致密的氧化物的薄膜，因而保护了内部的金属，不再和酸起反应，这种现象叫钝化。利用这种性质，可用铁桶盛装工业上用的浓硫酸，把它运往各地。

浓硫酸的腐蚀性很强。如果溅到皮肤或衣物上，应尽快用大量水和稀碳酸钠溶液冲洗。只要我们掌握了它的特性，认真地进行操作，就能够很好地控制、使用它。

① 在酸根里含有氧的酸叫做含氧酸。

硫酸的用途很广。大量用于冶金、金属加工、精炼石油和制造化学纤维，还用来制造医药、农药、化肥和炸药。

2. 稀硫酸（含少量 H_2SO_4 的硫酸溶液）的性质和用途

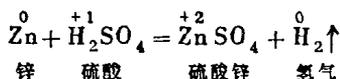
（1）稀硫酸与指示剂反应

若取试管一支，加入约 5 毫升水，然后慢慢倒入约 1 毫升的浓硫酸，同时用玻璃棒搅和，然后把蘸有稀硫酸的玻璃棒接触蓝色石蕊试纸，可以看见蓝色石蕊试纸变成红色。

使蓝色石蕊试纸变成红色的作用叫做酸性反应。

（2）置换反应和金属活泼性顺序

稀硫酸能和多种金属反应而产生氢气，下面是锌和稀硫酸发生反应的化学方程式：

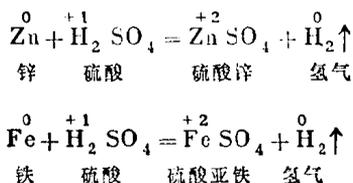


在上面的反应里，单质锌失去电子从零价变为 + 2 价，锌被氧化，是还原剂。稀硫酸中 + 1 价的氢离子得到电子变为单质氢气（零价），氢离子被还原，稀硫酸或更确切地说稀硫酸中 + 1 价的氢离子为氧化剂。对比前面讲过的浓硫酸的氧化性，可以看出浓硫酸与铜反应不放氢气而生成二氧化硫（ SO_2 ），原因就是浓硫酸表现氧化性的是 + 6 价的硫，而不是 + 1 价的氢离子。

在上面的反应里，单质锌与稀硫酸反应，生成了另一种化合物硫酸锌和另一种单质氢气。象这样一种单质和一种化合物发生反应，生成另一种单质和另一种化合物的反应，叫做置换反应。所以上面的反应也可以说，金属锌能置换稀硫酸里的氢。置换反应从本质上看是氧化还原反应。

如果分别取铁片和铜片代替锌粒，重做第三章第四节实

实验室中制备氢气的实验，可以知道铁和稀硫酸反应放氢气，而铜不与稀硫酸反应。对比锌粒和铁片与稀硫酸反应时试管中气泡产生的程度可以看出，锌与稀硫酸反应，比铁与稀硫酸反应剧烈。这两个置换反应的化学方程式分别为：



上述两个置换反应都是氧化还原反应，其实质是：金属锌和铁失去电子变成金属正离子（或阳离子 $\overset{+2}{\text{Zn}}$ 离子和 $\overset{+2}{\text{Fe}}$ 离子），和稀硫酸中+1价的氢离子得到电子形成氢气的过程。两个反应剧烈的程度不同，反映了锌和铁两种金属失电子能力的强弱不同。金属失电子的能力愈强（愈易形成金属离子），就说这个金属愈活泼，则在置换反应中，这个金属与稀酸的反应就愈剧烈。根据实验得知，锌比铁活泼，换句话说，就是锌失电子的能力比铁强，锌是比铁更强的还原剂。

人们通过实践，总结出常见金属的活泼性的强弱，按照金属活泼性从强到弱的顺序，排列成金属活·活·性·顺·序·表（见表4—1）：

表4—1 金属活泼性顺序

钾，钠，钙，镁，铝，锰，锌，铁，镍，锡，铅，氢，铜，汞，银，铂，金
K, Na, Ca, Mg, Al, Mn, Zn, Fe, Ni, Sn, Pb, H, Cu, Hg, Ag, Pt, Au

—————→
箭头表示金属活泼性逐渐减弱

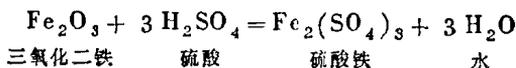
在上表里，金属的位置越排在前面，金属的活泼性越强。钾、钠是最活泼的金属，而铂、金是最不活泼的金属。位于氢前面的金属能置换出稀酸溶液里的氢，位于氢后面的金属，如铜、汞、银等，不能置换出稀酸溶液里的氢。排在氢前面的金属的位置愈靠前，置换氢的能力愈强；排列愈靠近氢的，则置换氢的能力愈弱。例如，镁置换氢的能力比锌强，锌则比铅强。金属愈活泼愈是强的还原剂。

由于稀硫酸能与一些金属作用，所以使用和保存时，要避免与活泼金属接触，防止金属被腐蚀。

(3) 稀硫酸与某些金属氧化物反应生成盐和水

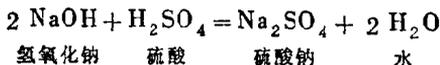
取一只生锈的铁钉，放入盛有稀硫酸的试管中，稍微加热，然后取出用水洗净，可见铁钉表面的铁锈已被除去。

这是因为稀硫酸与铁钉表面的铁锈（主要成分是三氧化二铁 Fe_2O_3 ）反应生成水和硫酸铁 $[\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3]$ 的缘故。其反应可用下面的化学方程式表示：



(4) 稀硫酸与碱发生中和反应生成盐和水

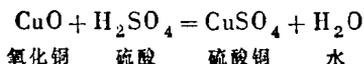
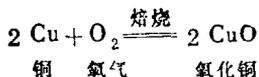
例如，稀硫酸与氢氧化钠的中和反应，其反应方程式为：



3. 废酸的利用

在工业生产中有大量的硫酸废液，通常称为废酸。废酸具有腐蚀性，会腐蚀厂房基础，排入阴沟也要腐蚀下水道，并且污染水源，不利于环境卫生和人民身体健康。我国工人

阶级认真落实毛主席关于综合利用的一系列指示，大搞综合利用，变“废”为宝，取得很大成绩。他们利用废铁屑和废酸产生置换反应，制得硫酸亚铁。硫酸亚铁晶体也叫绿矾（ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ），是一种浅绿色晶体，易溶于水，在工农业生产中都有用。他们还利用废酸和铜屑生产硫酸铜，方法是，先将铜屑氧化焙烧成氧化铜（ CuO ），然后利用废酸和金属氧化物（ CuO ）的作用，将所得的溶液滤去杂质，加热浓缩，冷却，可制得蓝色的硫酸铜晶体（ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ）。其化学方程式为：



硫酸铜在农业上常用来配制杀虫剂。

二、盐酸的性质

氯化氢（ HCl ）是一种无色而有刺激性气味的气体，很容易溶解在水中。氯化氢气体的水溶液叫做氢氯酸，俗名叫盐酸，纯盐酸为无色透明的液体，具有氯化氢的刺激性气味。通常的浓盐酸约含氯化氢37%，这种浓盐酸能放出氯化氢，氯化氢遇到空气里的水蒸气，形成盐酸小液滴而成白雾。一般工业用的粗盐酸约含氯化氢27%，由于其中含有杂质（主要是三氯化铁 FeCl_3 ）而带黄色。常用的稀盐酸只含10%或更少的氯化氢。无论稀的或浓的盐酸受热后均易挥发，它是一种挥发性的酸。

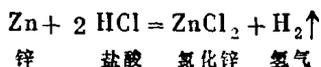
1. 盐酸与指示剂反应

取试管一支，加入约3毫升水，然后倒入约1毫升浓盐

酸，同时用玻璃棒搅和，就成稀盐酸，然后把蘸有稀盐酸的玻璃棒接触蓝色石蕊试纸，可以看见蓝色石蕊试纸变成红色。

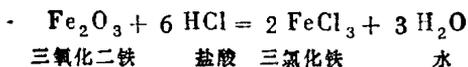
2. 盐酸能和锌等多种金属反应而产生氢气

用稀盐酸代替稀硫酸，重做第三章第四节实验室中制备氢气的实验，可以知道，锌能置换出稀盐酸里的氢，在试管中同时有氯化锌 (ZnCl_2) 生成。其反应可用下面的化学方程式表示：



3. 盐酸能与某些金属氧化物反应

取一只生锈的铁钉，放入盛有盐酸的试管中，过一会儿取出，用水洗净，可以看到铁钉表面的铁锈（主要成分为 Fe_2O_3 ）已被除去。这是因为盐酸与铁钉表面的氧化物反应生成水和可溶于水的三氯化铁的缘故。其反应可用下面的化学方程式表示：



工业生产中，各种金属的酸洗，以及金属在电镀前的处理，就是利用酸与金属表面的氧化物作用，以达到清洗金属表面的目的。

4. 盐酸与碱发生中和反应^①

盐酸可以清除金属制品表面的锈，广泛用于焊接、电镀等工业。在医药上，可用极稀的盐酸溶液补充胃液，并以盐

① 参看第四章第一节中：氢氧化钠与酸反应生成盐和水。

酸为原料制造多种药物和氯化物等。

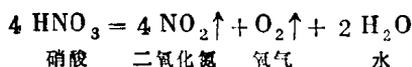
三、硝酸的性质

硝酸的分子式为 HNO_3 ，纯硝酸是无色液体，有刺激性气味，沸点 86°C ，容易挥发，通常实验室用的浓硝酸大约含 HNO_3 65%，含 HNO_3 96~98% 的硝酸，由于其中溶有二氧化氮 (NO_2) 气体而呈红棕色，叫做发烟硝酸。

用蘸过浓硝酸的玻璃棒接触玻璃片，然后于接触处加水一滴使其成稀硝酸，用玻璃棒蘸稀硝酸接触蓝色石蕊试纸，可以看见有酸性反应，即使蓝色石蕊试纸变成红色。

1. 硝酸的不稳定性

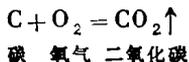
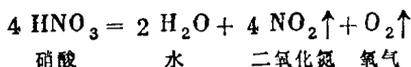
硝酸的特性是它的分子不安定，纯硝酸或浓硝酸在常温下见光就会分解，受热时分解更快。其分解反应可用下列化学方程式表示：



硝酸溶液越浓，就越容易分解。分解时所生成的二氧化氮（红棕色气体），一部分溶解于硝酸中，使硝酸显黄色。为了防止硝酸分解，在保存硝酸时，必须放在黑暗和温度较低的地方。

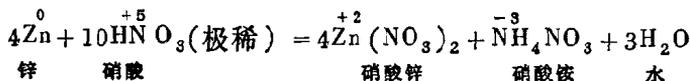
2. 硝酸的氧化性

硝酸的主要特性是有强烈的氧化性。硝酸是强氧化剂。许多非金属都容易被它氧化。例如：将一小块微热的木炭放入热的浓硝酸内，木炭的燃烧不但不会停止，反而燃烧得更加剧烈。这是因为，木炭遇到硝酸分解放出的氧气，而发生剧烈的氧化作用。



纸张或纺织品遇到硝酸，就会被氧化而破坏，许多有色物质，遇硝酸被氧化而褪色。含蛋白质的物质，遇硝酸就变黄色。硝酸溅到皮肤上，会造成灼伤，所以在使用硝酸时，要特别小心。如果有硝酸溅在皮肤或衣服上，就应该立刻用大量的水或稀碳酸钠溶液冲洗。

硝酸和能够置换酸里氢的金属起反应时，不能放出氢气来，这是因为被置换出来的氢气又被硝酸氧化成水的缘故。例如，锌和极稀的硝酸反应，生成硝酸铵 (NH_4NO_3) 和水。其反应方程式为：

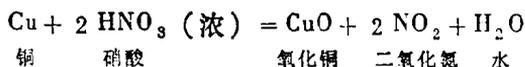


在上面的反应里，锌从零价被氧化为+2价，锌为还原剂。参加反应的十个分子硝酸中，一个分子硝酸里+5价的氮被还原为-3价，硝酸^①或更确切地说硝酸中+5价的氮为氧化剂。

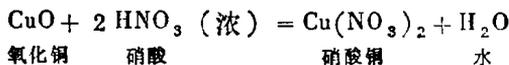
硝酸还能和铜、汞、银等不活泼的金属反应，放出氮的氧化物。例如，铜和浓硝酸起反应时，放出的气体是二氧化氮。

① 参加反应的十个分子硝酸中，只有一个分子作为氧化剂，其余九个分子起非氧化还原作用，起非氧化还原作用的酸分子中的元素（或根）的化合价，反应前后没有改变。

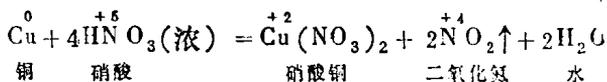
取一支试管，加入约 1 毫升浓硝酸，然后加入一小块铜片，则见有棕色二氧化氮 (NO_2) 气体冒出。其化学方程式为：



氧化铜又和硝酸起反应，生成盐和水：



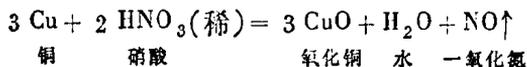
把上面两个化学方程式合并，只写出反应物和最后生成物，就得到下式：



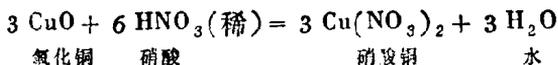
在上面的反应里，铜从零价被氧化为 + 2 价，参加反应的四个分子硝酸中，两个分子硝酸中 + 5 价的氮被还原为 + 4 价。这个反应可用来制取二氧化氮。

铜与稀硝酸（一体积浓硝酸和两体积水混和均匀）起反应时，放出的气体为一氧化氮 (NO)。

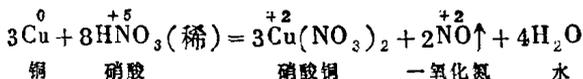
取一支试管，加入约 2 毫升水，然后慢慢倒入约 1 毫升浓硝酸，即制成稀硝酸。于此稀硝酸中加入一小块铜片，则有无色一氧化氮放出。由于一氧化氮遇到空气中的氧气生成二氧化氮 (NO_2)，所以到近管口时，则见有黄棕色二氧化氮气体生成。其化学方程式为：



氧化铜和稀硝酸起反应生成盐和水：

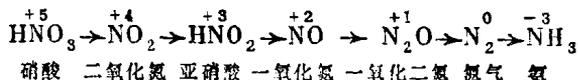


把上面两个化学方程式合并，只写出反应物和最后生成物，就得到下式：



在上面的反应里，铜从零价被氧化为+2价，铜为还原剂，参加反应的八个硝酸分子中，两个分子中的+5价氮被还原为+2价。硝酸^①或更确切地说硝酸中+5价的氮为氧化剂，这个反应可用于制一氧化氮。

由上可以看出，硝酸和金属反应的产物比较复杂，当氧化作用进行时，硝酸可依次被还原为下列化合物：



硝酸被还原的程度决定于硝酸浓度的大小和还原剂的强弱。一般来说，浓硝酸常被还原为二氧化氮，稀硝酸常被还原为一氧化氮。总之，硝酸愈稀，金属愈活泼，则还原产物中氮的化合价愈低。如上所述，当极稀的硝酸和锌反应时，硝酸被还原为硝酸铵($\overset{-3}{\text{NH}_4}\text{NO}_3$)。

应该指出，在上面硝酸与金属反应的化学方程式中，所列出的还原产物，只是反应的主要生成物。

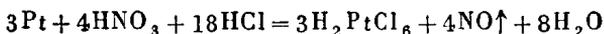
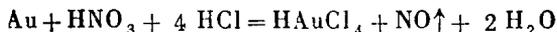
除金、铂外，一般金属都能溶解在硝酸中。但要指出，

① 参加反应的八个分子硝酸中，两个分子作为氧化剂，其余六个分子起非氧化还原作用，起非氧化还原作用的分子中的元素(或根)的化合价，反应前后没有改变。

铁、铝等金属只能溶于稀硝酸而不溶于冷的浓硝酸，这是由于浓硝酸和这些金属作用，在金属表面上生成一层紧密的氧化物薄膜，阻止了反应继续进行。利用铁的这种性质，可以把浓硝酸装入铁桶中运输。

用一体积浓硝酸和三体积浓盐酸混合，制成一种腐蚀性很强的混合液，这种混合液可以溶解金、铂，所以叫王水。

王水能溶解金和铂，使金和铂分别氧化成氯金酸 (HAuCl_4) 和氯铂酸 (H_2PtCl_6)，而硝酸则被还原成一氧化氮：

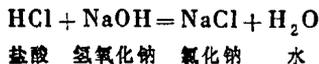
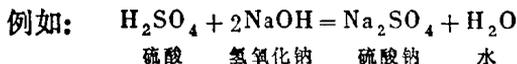
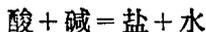


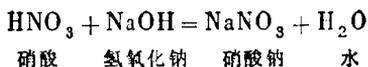
硝酸是重要的化工原料之一，大量的硝酸被用来制造氮肥、染料和炸药等。

四、酸的通性

前面我们介绍了酸的个性，在此基础上，我们归纳酸的共同性质有以下几点：

1. 酸的水溶液有酸味。
2. 酸的水溶液能使蓝色石蕊试纸变红（酸性反应）。
3. 按照金属活泼性顺序，位于氢以前的金属都能从稀酸（盐酸或硫酸）里置换出氢。位于氢后面的金属则不能。
4. 酸和碱起中和反应生成盐和水。

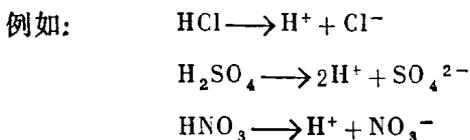




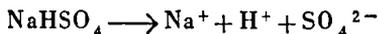
5. 酸能和金属氧化物反应。

酸类的上述通性，几乎仅在水溶液里才能呈现。例如，干燥的氯化氢，一点酸的性质也没有，甚至不能使蓝色石蕊试纸变红，但它的水溶液——盐酸，却是最典型的酸之一。同样，无水硫酸在常温下和锌完全不起反应，但它的水溶液却和锌猛烈作用而放出氢气。

为什么酸类有以上的共同性质呢？这是因为酸类物质在水溶液中都能电离出氢离子(H^+)的缘故。



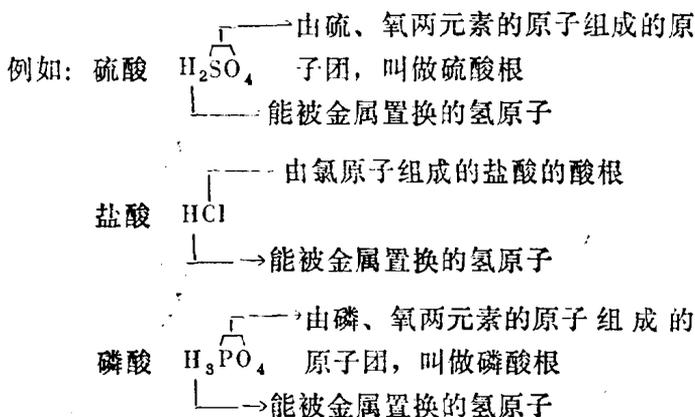
按电离观点：凡是在水溶液中能电离，而且生成的阳离子全部都是氢离子(H^+)的化合物，叫做酸。应该注意的是“全部”二字，因为某些化合物在水溶液里分出氢离子，同时还生成带正电荷的金属离子。例如，硫酸氢钠(NaHSO_4)的电离可用下式表示：



电离出氢离子(H^+)，同时还电离出钠离子(Na^+)，所以硫酸氢钠就不是酸。

五、酸的组成、分类和命名

按照酸的组成：凡含有酸根和能被金属置换的氢原子的化合物，叫做酸。



由以上可以看出：有的酸根只有一种元素的原子，例如盐酸的酸根。有的酸根是由几种不同元素的原子组成的原子团，例如硫酸根、磷酸根。

在酸的分子里，氢原子一端显正电性，酸根一端显负电性。因为整个化合物的分子在电性上是中性的，所以酸根的化合价，可以根据它和几个可被金属置换的氢原子化合来决定。

例如，硫酸 (H_2SO_4) 分子中，硫酸根和两个可被金属置换的氢原子化合，所以硫酸根为 -2 价；磷酸 (H_3PO_4) 分子中，磷酸根和三个可被金属置换的氢原子化合，所以磷酸根的化合价为 -3 价。

下面把几种最重要的酸的分子式和酸根的化合价列于表 4-2。

表 4—2 某些重要的酸的分子式、酸根及其化合价

酸 的 名 称	酸 的 分 子 式	氢 原 子 数	酸 根	酸 根 的 化 合 价
硫 酸	H_2SO_4	2	SO_4	- 2
硝 酸	HNO_3	1	NO_3	- 1
磷 酸	H_3PO_4	3	PO_4	- 3
碳 酸	H_2CO_3	2	CO_3	- 2
盐 酸	HCl	1	Cl	- 1
氢 硫 酸	H_2S	2	S	- 2

根据酸根的组成，把酸分为无氧酸和含氧酸两类，在酸根里不含有氧的酸，叫做无氧酸，又叫做氢酸。这种酸的命名，是在氢字后面加上所含另一种元素的名称，叫做氢某酸。例如， HCl 叫氢氯酸（俗名盐酸）； H_2S 叫氢硫酸； HF 叫氢氟酸； HI 叫氢碘酸。

在酸根里含有氧的酸叫做含氧酸。它的命名一般是按照氢、氧以外的另一种元素的名称叫做某酸。例如， H_2SO_4 中除氢、氧外的另一种元素为硫，所以叫做硫酸； H_3PO_4 中除氢、氧外的另一种元素为磷，所以叫做磷酸； H_2CO_3 中除氢、氧外的另一种元素为碳，所以叫做碳酸。而 HNO_3 习惯上叫硝酸。

根据酸根的价数，酸类可以分为一价酸、二价酸、三价酸。例如，盐酸是一价酸，硫酸是二价酸，磷酸是三价酸。

如果含氧酸中除氢、氧以外的另一种元素具有可变化价，就把这元素较稳定的常见化合价的酸叫某酸（正酸），

比正酸少一个氧原子（即这元素低二价）的酸叫亚某酸，比亚某酸少一个氧原子（即这元素低二价）的酸叫次某酸，比正酸多一个氧原子（即这元素高二价）的酸叫高某酸。例如， H_2SO_4 叫硫酸， H_2SO_3 叫亚硫酸，其中的硫分别为+6价和+4价。又如， H_3PO_4 叫磷酸（正磷酸）， H_3PO_3 叫亚磷酸， H_3PO_2 叫次磷酸，其中的磷分别为+5价，+3价和+1价。再如 HClO_3 叫氯酸， HClO_2 叫亚氯酸， HClO 叫次氯酸， HClO_4 叫高氯酸，其中的氯分别为+5价，+3价，+1价和+7价。

习 题

- 1.用浓硫酸配制稀硫酸时，应该注意哪些事项？为什么？
- 2.盛稀硫酸的容器不能用铁制品，但是在工厂中却用大铁罐来盛浓硫酸，为什么？
- 3.在金属活泼性顺序表中，排在氢后面的铜应该说不与酸反应，但工业上用铜与浓硫酸反应制造硫酸铜，为什么？
- 4.什么是金属活泼性顺序，举例说明它的用途。
- 5.国庆节时要放氢气球，需用氢气1000克，若用锌粒和稀硫酸作用制备氢气，问需要多少克锌？（答：32430克）
- 6.什么叫酸性反应和置换反应？
- 7.某生产队用熟石灰改良酸性土壤，假设土壤中所含的酸是硫酸，写出它的化学反应方程式。这种反应是属于什么反应类型（中和或置换）？
- 8.精炼石油时，先用浓硫酸除去石油里的杂质，再用氢氧化钠溶液中和剩余的硫酸，写出这个反应的反应方程式。
- 9.某工厂大搞综合利用，用废铁和废铜与废酸作用制造硫酸亚铁和硫酸铜，若有铁屑55.85吨，铜屑63.55吨（以纯铁和纯铜计）分别

与充足的废酸反应，问可制得结晶硫酸亚铁 ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 和结晶硫酸铜 ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 各多少吨？（答：278.1吨；249.7吨）

10. 硝酸和盐酸的性质有什么相同的地方和不同的地方？怎样用实验方法来鉴别这两种酸？

11. 某工厂有盐酸、浓硝酸和浓硫酸，都盛在陶瓷罐里，要辨认出罐中盛有哪种酸，你用什么简易的化学方法鉴别出来？并写出有关的化学方程式。

12. 把下列三种溶液分别加入盛有含4克氢氧化钠的溶液的三个试管中，各用石蕊试液实验。用计算结果说明石蕊试液的颜色变化情况：

- (1) 含7克 H_2SO_4 的溶液；
- (2) 含5克 HNO_3 的溶液；
- (3) 含3.65克氯化氢的稀盐酸。

13. 0.25克原子铜和足量浓硝酸反应，计算生成的二氧化氮在标准状况下占的体积。（答：11.2升）

14. 浓硝酸和稀硝酸与铜反应时，各放出什么气体？写出化学方程式。

15. 说明酸类有哪些共性？为什么？

16. 氢酸和含氧酸在组成上有什么不同？举例说明。

17. 指出下列各种酸中酸根的化合价：

HCl , H_2SO_4 , H_2S , HF (氢氟酸), H_3PO_4 ,
 HClO_4 (高氯酸)。

18. 下列酸的分子式是否正确？并将错的改正：

磷酸 (H_2PO_4)，硫酸 (H_2SO_3)，氢硫酸 (HS)，
亚磷酸 (H_3PO_2)，硝酸 (H_2NO_3)，碳酸 (HCO_3)，
盐酸 (H_2Cl)，高氯酸 (HClO_3)。

19. 说明硫酸、盐酸和硝酸的主要用途。

第三节 氧化还原方程式的配平

学习要求：

1. 明确配平氧化还原方程式的根据。
2. 掌握氧化还原方程式的配平。

我们在第三章中介绍了氧化还原反应的一般概念和氧化还原反应的实质。由于当时接触到的氧化还原反应较少，不便于介绍较复杂氧化还原方程式的配平。在第四章特别是讲述浓硫酸和硝酸的氧化性时，遇到了一系列较复杂的氧化还原反应，通过实验实践，对这些反应有了一定认识，在此情况下，介绍较复杂氧化还原方程式的配平，就会易于接受。为此，我们将氧化还原方程式的配平安排在这里，并结合讨论浓硫酸和硝酸的氧化性时所涉及到的氧化还原反应，进行介绍。

氧化还原方程式往往比较复杂，在反应物和生成物的分子式前面，常有较大的系数，这种化学方程式如用一般配平方法难以配平，下面用实例来说明这类化学方程式的配平方法。

一、配平氧化还原方程式的根据

我们知道，氧化与还原是矛盾的两个方面，失去一方，它方就不存在。也就是说，在化学反应中，有一物质失去电子，必定有另一物质同时得到电子，而且得失电子数相等，否则氧化还原反应就无法进行。因此，配平氧化还原方程式

的根据，就是氧化剂得到的电子数，必与还原剂失去的电子数相等（即电子得失法）。

二、配平氧化还原方程式的步骤

1. 根据实验结果写出反应物和生成物。

2. 找出反应前后化合价有改变的元素，并在这些元素符号上方标明其化合价。

3. 根据元素化合价的改变，指出氧化剂和还原剂得失电子的数目，乘以适当系数（即最小乘数），使得失的电子数相等，从而确定氧化剂和还原剂，以及与其对应的生成物，所应添加的系数（系数为1时，可以省略）。

4. 进一步查看反应物中作为氧化剂和还原剂用的物质，除起氧化还原作用外，是否还另外起着非氧化还原作用。

5. 按照上面已确定的氧化剂、还原剂和与其对应的生成物的系数，进而确定其他起非氧化还原作用的反应物和生成物的系数。

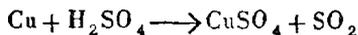
6. 根据反应物和生成物已确定的系数，判断应否有水生成以及生成水分子的数目。

7. 检查反应方程式等号两边各种原子的数目是否相等。

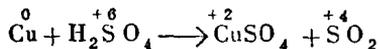
【例 1】 配平铜和热浓硫酸作用的氧化还原方程式。

【解】 按照上述步骤进行配平

1. 根据实验结果写出反应物和生成物：

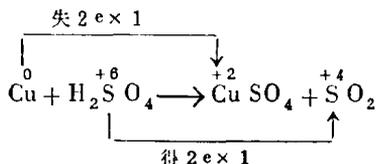


2. 标明有化合价改变的铜、硫的化合价：

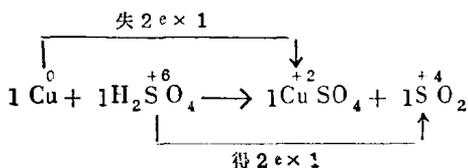


3. 指出氧化剂（ H_2SO_4 ）和还原剂（ Cu ）得失电子的数

目，乘以系数 1 使得失电子数相等：

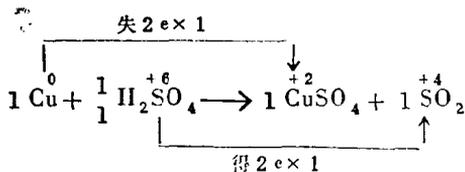


从而确定了 Cu、H₂SO₄ 以及其对应的生成物 CuSO₄ 和 SO₂ 应添加的系数为 1。即：



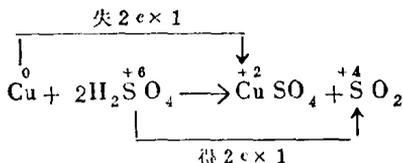
4. 由上述反应式中看出，生成物中除有 SO₂ 外，还有硫酸铜（其中含有硫酸根），这说明 H₂SO₄ 除有一个分子作为氧化剂应用外，还有起非氧化还原作用的，这些起非氧化还原作用的酸分子中的元素（或根）的化合价，在反应前后没有改变（如硫酸根的化合价，反应前后没有改变）。

5. 由上得知，Cu、H₂SO₄（作氧化剂用的）、CuSO₄ 和 SO₂ 的系数均已确定为 1，由于一个分子 CuSO₄ 中含有一个硫酸根，这就随之确定了必有一个 H₂SO₄ 分子起非氧化还原作用，因而在硫酸分子式前面，应再添加系数 1（除作氧化剂已添的系数 1 之外），即：

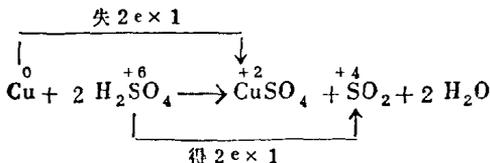


将硫酸分子式前面的系数合并起来（起氧化还原作用的

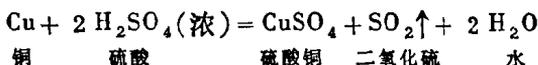
一个分子与起非氧化还原作用的一个分子)，并将其他系数 1 省略，得：



6. 由于 H_2SO_4 的系数已确定为 2，则反应物中的氢原子个数随即被确定为 4，从而说明生成物中应添加 2 个分子水，才能使方程式等号左右的氢原子个数相等。即：



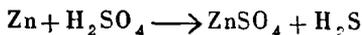
7. 检查方程式，等号左右氧原子个数均为 8，说明这个氧化还原方程式已配平了。即：



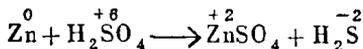
【例 2】 配平锌和浓硫酸作用生成硫化氢的氧化还原方程式。

【解】 按照上述步骤进行配平

1. 根据实验结果写出反应物和生成物：

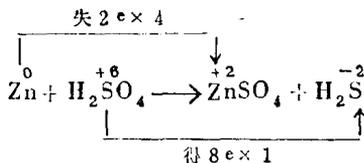


2. 标明有化合价改变的锌、硫的化合价：

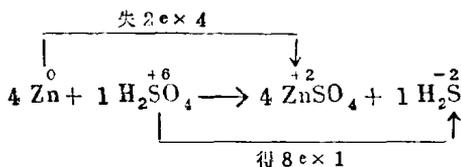


3. 指出氧化剂 (H_2SO_4) 和还原剂 (Zn) 得失电子的数

目，乘以适当系数，使得失电子数相等：

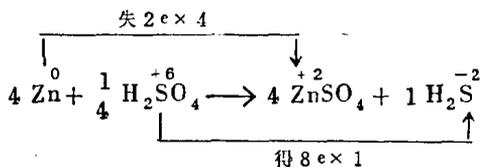


从而确定了 Zn 和 ZnSO₄ 的系数应为 4，H₂SO₄ 和 H₂S 的系数应为 1。即：

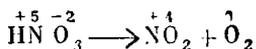


4. 由上式看出，生成物中有硫酸根（含在 ZnSO₄ 分子中），这说明 H₂SO₄ 除有一个分子作为氧化剂应用外，还有起非氧化还原作用的。

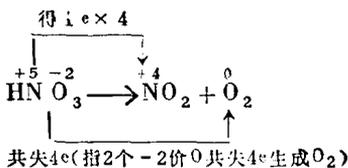
5. 由上得知，Zn 和 ZnSO₄ 的系数已确定为 4，H₂SO₄（作氧化剂用的）和 H₂S 的系数已确定为 1，生成物中有四个分子 ZnSO₄，其中含有四个硫酸根，这就说明了起非氧化还原作用的 H₂SO₄ 应有四个分子，因而在硫酸分子式前面应再添加系数 4（除作氧化剂已添的系数 1 之外）。即：



将硫酸分子式前面的系数合并起来，并将其他系数 1 省略，得：

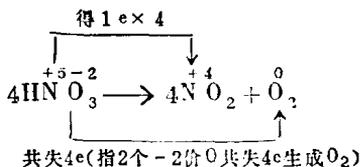


3. 指出氧化剂 (+5 价氮) 和还原剂 (-2 价氧) 得失电子的数目, 乘以适当系数, 使得失电子数相等:

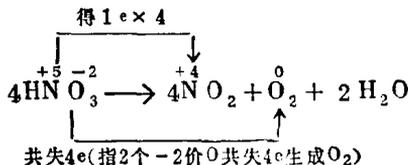


从而确定了 HNO_3 以及生成物 NO_2 应添加的系数为 4。

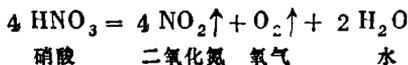
即:



4. 由上式得知, 由于 HNO_3 的系数已确定为 4, 方程式左边氢原子个数也即被确定为 4, 所以生成物中应添加 2 个分子水才能使方程式等号左右的氢原子个数相等。即:

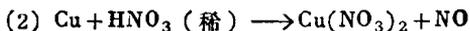
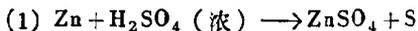


5. 检查方程式等号左右氧原子个数均为 12, 说明这个氧化还原方程式已经配平了。即:

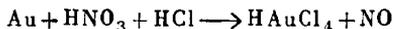


习 题

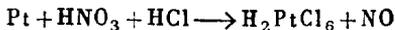
1. 用电子得失法配平下列氧化还原方程式:



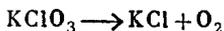
(4) 王水溶解金的反应:



(5) 王水溶解铂的反应:



(6) 有二氧化锰存在用氯酸钾制备氧气的反应:



2. 举例说明什么叫氧化还原反应? 并指出氧化剂和还原剂.

第四节 盐

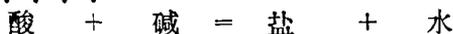
学习要求:

1. 掌握盐的组成、定义、分类和命名。
2. 理解为什么金属活泼性顺序表又叫金属置换顺序表, 并能掌握这个表的应用。
3. 认识化学反应的四种基本类型。
4. 掌握正盐、酸式盐、碱式盐和复盐的意义和命名, 了解几种盐的性质和主要用途。

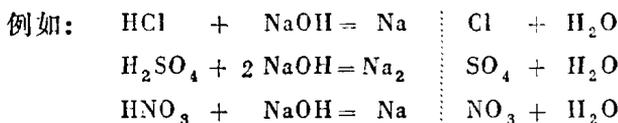
一、盐的组成、分类和命名

酸和碱是一对矛盾。即酸和碱的性质有互相矛盾的一

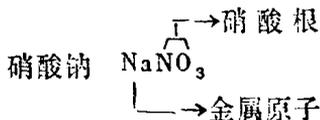
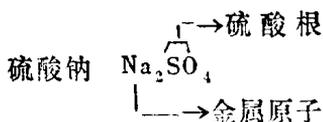
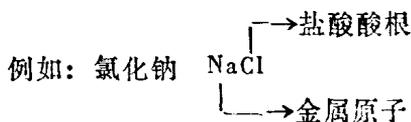
面。例如，酸在水溶液中能电离出氢离子，它能使蓝色石蕊试纸变红；碱在水溶液中能电离出氢氧根离子，能使红色石蕊试纸变蓝等等。但酸碱性质也有相互联系的一面，例如，酸、碱能起中和反应，生成水和含有金属原子和酸根的化合物，这类化合物叫做盐。



(金属原子 酸根)



上述中和反应中生成的氯化钠(NaCl)，硫酸钠(Na_2SO_4)和硝酸钠(NaNO_3)都叫盐，它们的分子中都包括金属原子和酸根两部分。



常见的盐有四种：正盐、酸式盐、碱式盐和复盐。

1.象上面的盐类分子里，仅含有金属原子和酸根的，叫

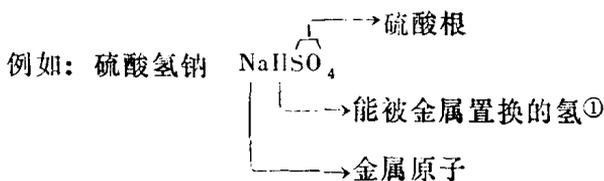
做正盐。

关于正盐的命名是，如果盐分子中含的是无氧酸根，则叫做某化某（指金属）。例如 NaCl （酸根为无氧酸——盐酸的酸根）叫做氯化钠， CaCl_2 叫做氯化钙； Na_2S 〔酸根为无氧酸——氢硫酸(H_2S)的酸根〕叫做硫化钠。

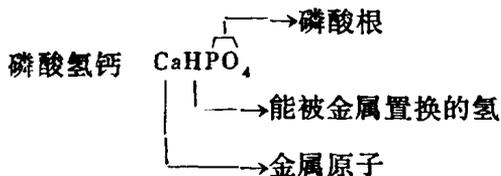
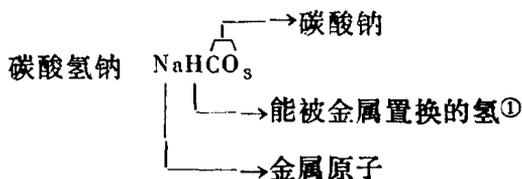
如果盐分子中含的是含氧酸根，则叫做某酸某（指金属）。例如， Na_2SO_4 （酸根为含氧酸——硫酸的酸根）叫做硫酸钠； NaNO_3 叫做硝酸钠， Na_2CO_3 叫做碳酸钠； $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 叫做硫酸铵。

如果一种金属元素具有可变化价，能够生成不同的盐，含高化合价的金属元素的盐的命名如上所述，而含低化合价的金属元素的盐的命名是在金属的名称前加个“亚”字。例如 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 中铁为高价(+3价)叫做硫酸铁； FeSO_4 中铁为低价(+2价)，所以叫做硫酸亚铁， FeCl_3 叫做氯化铁（或三氯化铁）， FeCl_2 叫做氯化亚铁（或二氯化铁）。

2. 盐类的分子里，除含有金属原子和酸根外，还含有尚能被金属所置换的氢原子的叫做酸式盐。



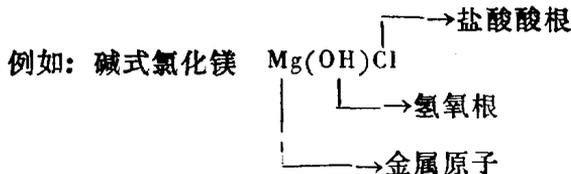
① NaHSO_4 中的氢继续被钠置换，则生成正盐硫酸钠 (Na_2SO_4)。



象上面所列举的 NaHSO_4 、 NaHCO_3 、 CaHPO_4 都是酸式盐。

关于酸式盐的命名，是在酸根名称的后面加个“氢”字，或在正盐名称的前面加“酸式”二字。例如 NaHSO_4 叫做硫酸氢钠（或酸式硫酸钠）； NaHCO_3 叫做碳酸氢钠（或酸式碳酸钠，俗名小苏打）； CaHPO_4 叫做磷酸氢钙、 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 叫做磷酸二氢钙。

3. 盐类的分子里，除含有金属原子和酸根外，还含有氢氧根的，叫做碱式盐。



① NaHCO_3 中的氢继续被钠置换，则生成正盐碳酸钠 (Na_2CO_3)。

(包括铵离子 NH_4^+) 和酸根阴离子的化合物叫做盐。

在化学上，对于含相同的酸根离子或相同的金属离子的盐类，常常给它们一个总的名称，如含有硫酸根离子的盐总称硫酸盐，含有钾离子的盐总称钾盐等等。例如：

盐 酸 盐	硝 酸 盐	硫 酸 盐	钠 盐	钾 盐
NaCl	NaNO_3	Na_2SO_4	NaCl	KCl
KCl	KNO_3	K_2SO_4	Na_2CO_3	K_2SO_4

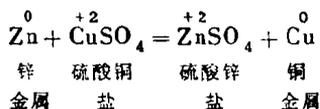
二、盐类的性质

一般说来，盐具有下列的化学性质：

1. 盐能与金属起反应生成另一种盐和另一种金属

例如，取一小块蓝色固体硫酸铜（俗名胆矾）放入试管中，加少量水使其溶解，制成硫酸铜溶液，并向此溶液中加入一小块锌片，片刻以后，取出锌片，可以看到锌片表面上覆盖了一层红色的铜。

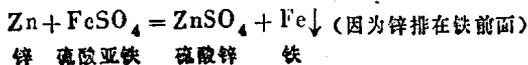
上面的实验说明，当锌浸入硫酸铜溶液时，有铜被置换出来，同时溶液里生成锌的硫酸盐。这个反应可以用下面的化学方程式表示：



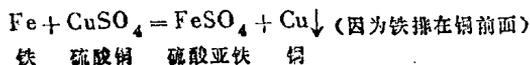
从上面的置换反应可以看出，盐（硫酸铜）与金属（锌）起反应，生成了另一种盐（硫酸锌）和另一种金属（铜）。这个反应是氧化还原反应，其实质是：化合价为零的金属锌（Zn），失去电子变为+2价的锌离子（ Zn^{2+} ），而来自硫酸铜

(CuSO_4)中的+2价的铜离子(Cu^{2+})得到电子变为零价的金属铜(Cu)。为什么这个反应能够发生呢?查看金属活泼性顺序表,使我们知道锌比铜活泼,也就是说,锌失电子的能力比铜强,所以锌失电子变为离子,使铜离子(Cu^{2+})得到电子变为铜,而铜被锌置换出来。反之,若把铜片放在硫酸锌溶液中,则不能发生反应,也就是铜不能置换出锌,或者说,锌不能被铜置换出来。由此可知,在金属活泼性顺序中,只有排在前面的金属才能把排在它后面的金属从这些金属的盐溶液里置换出来。所以金属活泼性顺序表也叫做金属置换顺序表(或金属取代顺序表)。例如,下列反应都能进行。

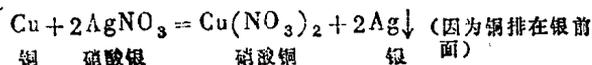
(1) 锌片放在硫酸亚铁溶液中:



(2) 铁片放在硫酸铜溶液中:

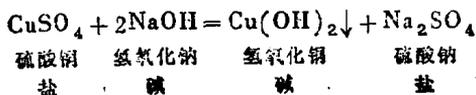


(3) 铜片放在硝酸银溶液中:



2. 盐与碱起反应生成另一种盐和另一种碱

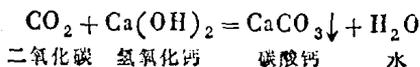
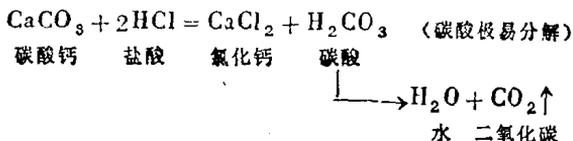
例如,在盛有硫酸铜溶液的试管中,加入氢氧化钠溶液,则见有蓝色氢氧化铜 $[\text{Cu}(\text{OH})_2]$ 沉淀生成。其反应可用下面的化学方程式表示:



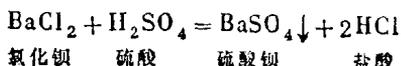
由此可知，可溶性盐(CuSO₄)与可溶性碱(NaOH)起反应，能制得难溶性碱[Cu(OH)₂]。应该注意的是，由于生成物中有一种是难溶性物质，所以反应能够发生。

3. 盐与酸起反应生成另一种盐和另一种酸

向盛有碳酸钙的试管里滴入盐酸，立刻产生气体，把气体通入石灰水，石灰水逐渐变浑浊。利用这个反应原理，可以鉴别碳酸根离子的存在。上述反应方程式为：



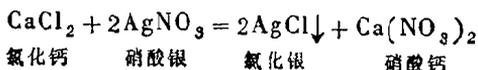
若把氯化钡溶液注入盛有硫酸溶液的试管中，则有白色沉淀生成。加入盐酸，沉淀不消失。其反应方程式为：



生成的硫酸钡不溶于硝酸或盐酸。利用这个反应原理，可以鉴别硫酸根离子存在。

4. 盐与另一种盐反应生成两种别的盐

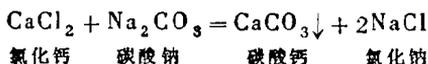
向盛有氯化钙溶液的试管里，滴入硝酸银溶液，立刻有白色沉淀生成。其反应为：



生成的氯化银不溶于硝酸。利用这个反应原理，可以鉴别氯离子的存在。

又如，在盛有氯化钙溶液的试管里，滴入碳酸钠溶液，

则见有白色碳酸钙沉淀生成，其反应为：



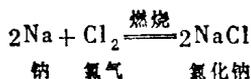
由上可知，盐(CaCl_2)与另一种盐(Na_2CO_3)起反应，生成了不溶性盐碳酸钙(CaCO_3)和食盐(NaCl)。由于反应生成物中有不溶性物质生成，所以反应能够发生。

三、盐类的一般生成方法

盐类的生成方法很多，除有些盐需用特殊方法外，一般的方法有以下几种：

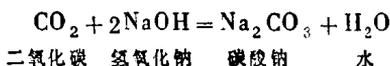
1. 金属和非金属直接化合生成盐

例如：金属钠加热后在氯气里燃烧：



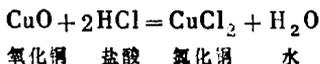
2. 非金属氧化物和碱起反应生成盐和水

例如：



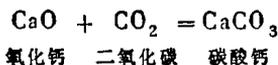
3. 金属氧化物和酸反应生成盐和水

例如：



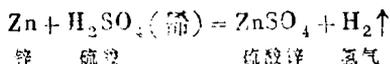
4. 非金属氧化物和金属氧化物化合生成盐

例如：

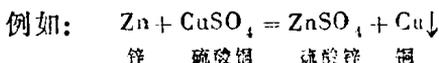


5. 金属置换酸中的氢生成盐和氢气

例如:



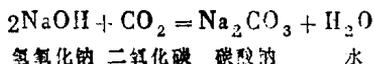
6. 金属置换盐里的另一种金属，生成新的盐和新的金属



7. 利用盐与另一种盐反应可以生成别的盐

综合以上所学过的化学反应，从形式上可以将它们分为四种基本类型，即化合反应（见第一章第二节）、分解反应（见第一章第二节）、置换反应和复分解反应。对于酸和碱作用生成盐和水的复分解反应又称中和反应。

化学反应是多种多样的，上述四种基本类型并不能概括所有的无机化学反应。例如氢氧化钠和非金属氧化物的反应:



就不能归入以上四种基本类型中。

从本质上又可将无机化学反应分为非氧化还原反应，和氧化还原反应。置换反应的本质就是氧化还原反应。

四、几种重要的盐

1. 氯化钠(NaCl)俗称食盐，它是维持人体正常生理机能不可缺少的一种重要物质。除食用外，大量地用于化工生产。熔化的食盐在电流的作用下，能制得金属钠和氯气。食盐水在电流作用下，能制得烧碱、氢气和氯气，制得的氢气和氯气可以合成盐酸。食盐又是制纯碱(Na₂CO₃)的原料。

我国有漫长的海岸线和平坦的海滩，可以生产大量的海盐。内地也有优质的池盐、井盐和岩盐。这是我国发展化学工业极为有利的条件。

2. 碳酸钠 (Na_2CO_3) 俗称纯碱或苏打。我们日常用的块碱是含有结晶水的碳酸钠 ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)，块碱易失去结晶水而变为粉末，白色碳酸钠粉末易溶于水，水溶液显碱性。碳酸钠是重要的化工原料，广泛地应用在玻璃、冶金、石油、合成洗涤剂、印染、造纸、肥皂、食品等工业生产上。纯碱可直接用于洗涤。

3. 碳酸钙 (CaCO_3) 在自然界分布很广，石灰石、大理石、方解石的主要成分是碳酸钙。碳酸钙难溶于水。无色透明的方解石可制光学用品。石灰石是炼铁的助熔剂，也是生产石灰和水泥的基本原料。

4. 硫酸镁 (MgSO_4) 极易溶于水，它存在于海水中，含有结晶水的硫酸镁 ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 在医药上用作泻剂，通常叫做泻盐。

5. 氯化钙 (CaCl_2) 有吸水性，在实验室中常用无水氯化钙作干燥剂。

6. 硫酸铜 (CuSO_4) 是一种白色粉末。常见的是蓝色结晶硫酸铜 ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)，俗称胆矾或蓝矾。硫酸铜和其他铜盐都是有毒的，所以铜不宜用来做炊具和餐具，若用铜做炊具，内壁都要镀锡。在农业上常用硫酸铜的稀溶液和石灰乳混合配成波尔多液^①，作为防止病虫害的杀虫、杀菌剂，工业上用来精炼铜和镀铜。

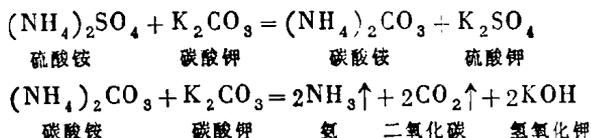
^① 硫酸铜、生石灰和水按 1 : 1 : 100 的比例制成。

7. 硝酸钾 (KNO_3) 俗名火硝, 是一种无色透明的晶体, 易溶于水, 但不易潮解。它在农业上是很好的化肥。硝酸钾因在高温下是强氧化剂, 可用来制造黑色炸药。

8. 碳酸钾 (K_2CO_3) 又称钾碱。不纯的俗称草碱或珠灰。为白色结晶粉末。极易溶于水而呈碱性反应。可用于印染、玻璃、肥皂等工业生产, 也可作肥料。

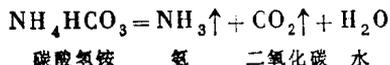
植物残体燃烧后剩余的灰分, 叫做草木灰, 一般是黑灰色粉末, 是一种速效肥料。草木灰的主要成分是碳酸钾。

由于草木灰中的钾盐易溶于水, 所以它不宜堆放在露天, 以免被雨水淋溶而使肥效流失。另外, 因为草木灰中的碳酸钾溶于水呈碱性反应, 所以不能和铵态肥料 (如硫酸铵) 以及腐熟的人畜尿混合贮存和施用, 以免使氨挥发, 造成损失。



9. 硫酸铵 $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ 简称硫铵, 俗名肥田粉, 是一种白色晶体。硫铵吸潮性较弱, 很少结块, 贮存时能保持良好的松散性, 施用比较方便。

10. 碳酸氢铵 (NH_4HCO_3) 简称碳铵, 白色结晶状, 在工业产品中, 有时因混有杂质而带灰色。碳铵吸潮性强, 易结块, 性质不稳定, 常温下就能分解, 其分解反应式为:

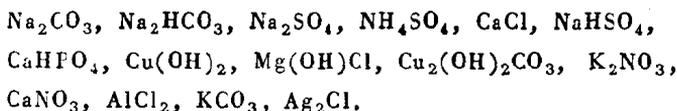


所以, 碳铵常带有氨的刺激性气味, 称为挥发性氮肥。由于碳铵具有挥发性, 必须正确地掌握其施用技术。实

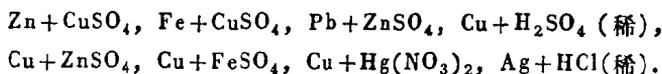
践证明，碳铵深施比撒施可以提高肥效。

习 题

1. 根据金属和酸根的化合价，检查下列各种盐的分子式是否正确？如果不正确，写出正确的分子式，并注明各种盐的名称：

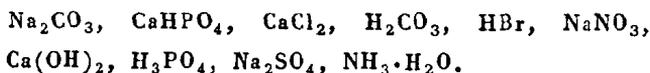


2. 什么叫金属置换顺序表？根据此表说明下列各组金属与盐溶液能否发生反应？对于能发生反应的写出完整的化学方程式：



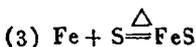
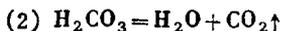
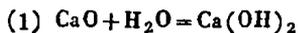
3. 配制波尔多液时，溶解硫酸铜需用木桶或大缸，而不能用铁桶，为什么？

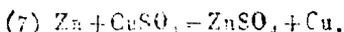
4. 指出下列化合物中哪些是酸；哪些是碱；哪些是盐。



5. 举例说明正盐、酸式盐、碱式盐、复盐的分子组成有什么不同。

6. 指出下列反应各属于哪种类型的反应（化合、分解、置换、复分解）。





7. 怎样鉴别氯离子 (Cl^-)、硫酸根离子 (SO_4^{2-}) 和碳酸根离子, 写出反应方程式.

8. 举例说明盐类的一般生成方法.

9. 写出下列各种盐的分子式:

硝酸钾, 碳酸钠, 结晶硫酸铜, 硫酸亚铁, 碳酸氢钠,
硫酸镁, 氯化钡, 碳酸钙, 硝酸铜, 氯化钙.

10. 写出下列溶液中两物质反应的化学方程式:

(1) 氢氧化钙跟碳酸钠;

(2) 碳酸钾跟盐酸;

(3) 氢氧化钾跟硝酸.

第五节 氧化物的分类

学习要求:

掌握碱性氧化物、酸性氧化物和两性氧化物的意义和性质.

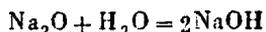
我们知道氧和另一种元素组成的化合物, 叫做氧化物. 例如, 氧化钠 (Na_2O)、氧化钙 (CaO)、氧化锌 (ZnO)、氧化铝 (Al_2O_3)、三氧化硫 (SO_3)、五氧化二磷 (P_2O_5) 和二氧化碳 (CO_2) 等等.

根据一般氧化物对酸类或碱类起反应的性质, 氧化物主要可分为三类:

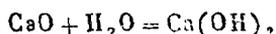
一、碱性氧化物

某些氧化物和水发生反应能生成碱. 例如, 氧化钠

(Na_2O)、氧化钙(CaO)分别与水反应，生成氢氧化钠和氢氧化钙，其反应为：



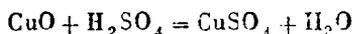
氧化钠 水 氢氧化钠



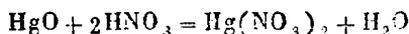
氧化钙 水 氢氧化钙

氧化钠和氧化钙都是碱性氧化物，氢氧化钠和氢氧化钙分别是它们的对应水化物。

金属的氧化物一般是碱性氧化物，但是，多数的金属氧化物如 CuO 、 HgO 等，不能直接和水发生反应，而能和酸类发生反应，生成盐和水。例如：

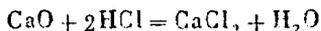


氧化铜 硫酸 硫酸铜 水



氧化汞 硝酸 硝酸汞 水

凡能和水反应生成碱的金属氧化物，也能发生这种反应。例如：

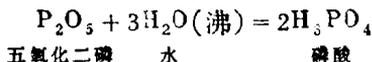
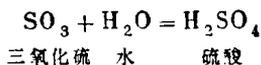


氧化钙 盐酸 氯化钙 水

因此，凡能和酸类起反应而生成盐和水的氧化物，叫做碱性氧化物。

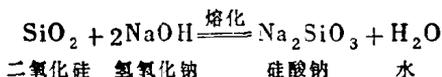
二、酸性氧化物

某些氧化物和水发生反应能生成酸。例如，三氧化硫(SO_3)、五氧化二磷(P_2O_5)分别与水反应生成硫酸和磷酸，其反应为：

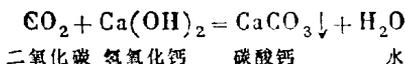


三氧化硫和五氧化二磷都是酸性氧化物。

非金属的氧化物一般是酸性氧化物。但是，有些非金属的氧化物，如二氧化硅(SiO_2)不能和水发生反应，而能和碱类发生反应，生成盐和水。例如：

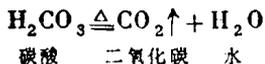
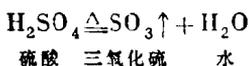


凡能和水反应生成酸的非金属氧化物，也能发生这种反应。例如：



因此，凡能和碱类起反应，生成盐和水的氧化物，叫做酸性氧化物。

酸性氧化物可以看成是酸分子里失去水的产物。例如：

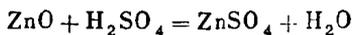


因此，酸性氧化物也叫酸酐。如三氧化硫(SO_3)就是硫酸的酸酐，简称硫酐。 CO_2 是碳酸的酸酐。也就是说，三氧化硫的水化物是硫酸；二氧化碳的水化物是碳酸。

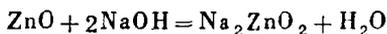
三、两性氧化物

有些氧化物同时具有酸性氧化物和碱性氧化物的两种性

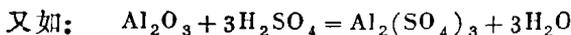
质，如氧化锌(ZnO)和氧化铝(Al_2O_3)等。它们既能和酸类又能和碱类反应，生成盐和水。这类氧化物叫做两性氧化物(或双性氧化物)。例如：



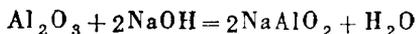
氧化锌 硫酸 硫酸锌 水



氧化锌 氢氧化钠 锌酸钠 水



氧化铝 硫酸 硫酸铝 水



氧化铝 氢氧化钠 铝酸钠 水

除以上三类氧化物外，还有少数几种非金属氧化物，如一氧化碳和一氧化氮等，它们既不与酸作用，也不与碱作用，称为中性氧化物(或惰性氧化物)。

习 题

1. 哪类物质的氧化物是酸性氧化物？哪类物质的氧化物是碱性氧化物？
2. 如果某一种氧化物不溶于水，怎样确定它是碱性氧化物还是酸性氧化物？
3. 举例说明酸性氧化物、碱性氧化物和两性氧化物、中性氧化物的意义。
4. 举例说明什么叫酸酐？
5. 写出下列氧化物和水起反应的化学方程式：
 Na_2O , SO_3 , K_2O , CO_2 , P_2O_5 .

第五章 化学反应速度和化学平衡

在化工生产中，为了提高产量和降低成本，需要考虑各种条件和因素。例如，在用氮气和氢气合成氨的生产中，就要解决两个主要问题：一个是如何加快合成氨的反应，这就涉及到化学反应速度的问题；一个是如何使氮、氢原料气尽可能地转化成氨，这就涉及到化学平衡的问题。因此，研究化学反应速度和化学平衡对生产实践或科学实验都有重要的意义。

第一节 化学反应速度

学习要求：

1. 掌握化学反应速度的表示方法。
2. 了解影响化学反应速度的主要因素。

各种化学反应速度很不相同。有的很快，几乎一瞬间就能完成；有的很慢，需要几年或几十年才能完成；还有的则需要几十万年才能完成，如形成煤和石油的反应。

人们根据实际的需要，对那些有利的反应，就希望进行得快些。如氨的合成、硫酸的生产等，总是设法加速反应的进行，从而使产量增加；而对另一些不利的反应，如金属的

腐蚀，塑料的老化等，则采取适当的措施，减慢它们的反应速度。总之，反应速度是化学工业和其它有关方面的一个重大实际问题。

一、化学反应速度的表示方法

物质起反应时，有两个变化着的因素，一个是时间，另一个是反应物或生成物的浓度。随着反应的进行，反应物的浓度不断减少，生成物的浓度不断增加。因此，化学反应速度通常用单位时间内反应物浓度的减少值或生成物浓度的增加值来表示。

浓度是指单位体积内所含物质的数量，一般用1升体积内含有物质的克分子数来表示；时间单位则可按具体反应的快慢，用秒或分来表示；反应速度单位用克分子/升·秒或克分子/升·分来表示。

例如，在 $A+B=C$ 的反应中，反应开始时 A 的浓度是 2 克分子/升，经过 1 分钟，它的浓度变成 1.8 克分子/升，那么在这 1 分钟内，就有 0.2 克分子/升的 A 发生变化，所以，用 A 的浓度改变来表示的反应速度是 0.2 克分子/升·分。如果改用反应物 B 的浓度减少或用生成物 C 的浓度增加来表示，反应速度也都是 0.2 克分子/升·分。但是在 $2A+B=2C$ 的反应中，假定以 A 的浓度减少来表示反应速度，其数值为 0.2 克分子/升·分；用 B 的浓度减少来表示时，反应速度应为 0.1 克分子/升·分；如用 C 的浓度增加来表示反应速度，其数值又是 0.2 克分子/升·分。由此可见，除了不会引起混淆的情况外，必须标明是采用那一种物质的浓度改变来表示反应速度的。

二、影响化学反应速度的主要因素

决定化学反应速度的首要因素，是反应物的本性，这是

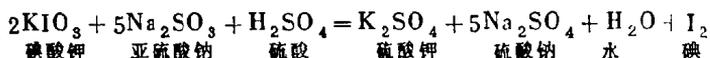
内因，内因是变化的根据。例如，氟和氢化合成氟化氢时，在低温下也会爆炸；而氮和氢化合成氨时，在通常情况下反应速度却非常缓慢。这种差别是由反应物的本性不同所决定的。其次，外界条件对反应速度也有很大的影响，即使是相同物质进行反应，在不同条件下，反应速度可有显著的不同。上面说到由氮和氢合成氨的反应，在常温常压下反应速度很慢，但在高温高压下反应速度就显著加快。

能影响反应速度的因素很多，其中主要的是，反应物的浓度、温度和催化剂^①，现分别讨论如下：

1. 浓度对反应速度的影响

(1) 浓度对反应速度的影响 实验证明，增加反应物的浓度，可以增加反应速度。现用下面的实验证明：

取 3 只烧杯，烧杯内各盛含有硫酸的碘酸钾 (KIO_3) 溶液，再加进含有淀粉的亚硫酸钠 (Na_2SO_3) 溶液，它们相互反应生成硫酸钠 (Na_2SO_4) 和碘 (I_2)：



反应生成的 I_2 遇淀粉即呈蓝色，根据溶液混和后呈现蓝色的早晚，来判断反应速度的快慢。实验时，亚硫酸钠溶液的浓度不变，只变碘酸钾溶液的浓度。具体步骤如下：

第 1 只烧杯内加入 0.005M^② KIO_3 溶液 (含 H_2SO_4) 30 毫升；

① 除浓度、温度、催化剂外，光、超声波、放射线等，有时也是影响反应速度的重要因素。

② 见第 205 页。

第2只烧杯内加入0.004M KIO_3 溶液(含 H_2SO_4)30毫升;

第3只烧杯内加入0.003M KIO_3 溶液(含 H_2SO_4)30毫升。

在每只烧杯内各加入0.005M Na_2SO_3 溶液(含淀粉)10毫升,并立刻开始计时,最后记下溶液自混合至变蓝所需的时间。

实验结果是:第1只烧杯出现蓝色所需的时间最少,即反应速度最快;第2只烧杯出现蓝色的时间较长;第3只烧杯出现蓝色的时间更长。由此可知,反应物浓度越大,反应速度越快。

对有气态物质参加的反应来说,压力对反应速度也有影响。我们知道,气体容易压缩,所以当其它条件不变时,增加压力,气体体积缩小,这样就增加了单位体积内气体的克分子数,也就是增加了气体物质的浓度,所以反应速度也就加快。因此,对有气态物质参加的反应来说,压力对反应速度的影响,与浓度对反应速度的影响实质上是相同的。

液体或固体不容易压缩,它们的体积受压力后变化很小,可以忽略不计,因此,它们的浓度一般可认为没有改变。

对有固态物质参加的反应来说,还应该考虑固体粒子的大小和扩散作用对反应速度的影响。因为反应是在接触表面上进行的,所以,固体粒子越小,接触面就越大,反应速度也就越快。另外,扩散作用越快,反应速度也越快。例如,金属锌和酸作用时,若酸的浓度和用量一定,由于粉末状固体的总表面积比同样重量的粒状固体的总表面积大,所以锌

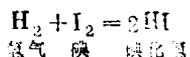
粉的溶解速度比同样重量的锌粒要快得多。同样重量的锌粒用酸溶解时，搅拌比不搅拌又要快些，因为搅拌可以加快扩散作用，使生成物不断地离开固体表面，反应物不断地到达固体表面，结果就加快了反应速度。

(2) 质量作用定律 上面讨论了反应物浓度对反应速度的影响，现在，我们进一步来阐明它们之间存在的定量关系。

人们经过长期的实践，总结出反应速度和反应物浓度之间的定量关系是：化学反应速度和各反应物浓度的乘积成正比。这个重要的结论叫做质量作用定律。

下面举例说明质量作用定律的数学表示式及其应用。

例如，在较高温度时，氢和碘蒸气发生反应，生成碘化氢(HI)气体：



实验结果表明：在一定温度时，反应速度与氢和碘蒸气的浓度的乘积成正比。例如，在某一温度时，在密闭的容器中，氢和碘蒸气的浓度都是0.01克分子/升，反应开始时速度是0.00001克分子/升·分。如果氢的浓度增加到原来的二倍，那末反应速度就增加到原来的二倍，为 $0.00001 \times 2 = 0.00002$ 克分子/升·分；如果氢的浓度增加到原来的4倍，碘蒸气的浓度增加到原来的二倍，那末反应速度就增加到原来的八倍，为 $0.00001 \times 4 \times 2 = 0.00008$ 克分子/升·分，其余可类推。

如以 $[\text{H}_2]$ ①和 $[\text{I}_2]$ 分别表示氢和碘蒸气的浓度，以 v 表

① 本章中的 $[\]$ 符号均表示有关物质的浓度。

示在该浓度时的反应速度，则根据质量作用定律，

$$v \propto [\text{H}_2][\text{I}_2]$$

或
$$v = k[\text{H}_2][\text{I}_2]$$

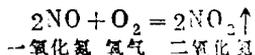
上式即为质量作用定律的数学表示式，式中 k 为比例常数，称为反应速度常数。同一反应，在同一温度时， k 值不随浓度而变，这是因为增加反应物浓度，仅按比例的增加反应速度，并不影响 k 值。但 k 值随温度而变。 k 值的大小是由实验确定的。

如果反应物的浓度均为 1 克分子/升，即上例中 $[\text{H}_2] = 1$ 克分子/升， $[\text{I}_2] = 1$ 克分子/升，则：

$$v = k$$

由此可见，当反应物的浓度都等于单位浓度时，反应速度常数 k 在数值上等于反应速度 v ，这就体现了 k 的物理意义。如果在给定的条件下 k 值大，则这个反应进行的速度是大的^①。不同的反应， k 值也不同，它与反应物的性质有关。

假如参加反应的不只是某物质的一个分子，而是几个分子，例如，二个 NO 分子和一个氧分子发生反应：



实验结果，反应速度 v 和 $[\text{NO}]^2 \cdot [\text{O}_2]$ 成正比，即：

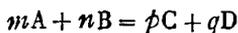
$$v = k[\text{NO}]^2 \cdot [\text{O}_2]$$

上式表示，如果 NO 的浓度增大至原来的二倍，反应速度就会增大至原来的四倍。如果将 NO 和 O₂ 的浓度都增大至

① 对不同的反应来说，必须是同一类型的反应，在同样的条件下，才能进行比较。

原来的二倍，这时反应速度就会增大至原来的八倍。也就是说，反应速度不是简单地与反应物浓度的乘积成正比，还与反应物分子式前面的系数有关。

综上所述，对于一般的化学反应：例如，由 m 个分子 A 和 n 个分子 B 反应，生成 p 个分子 C 和 q 个分子 D，即：



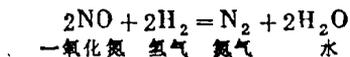
质量作用定律的数学表示式为：

$$v = k[A]^m \cdot [B]^n$$

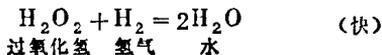
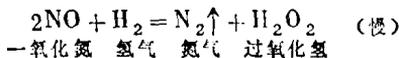
由此可见，在质量作用定律的数学表示式中，反应物浓度的方次 m 、 n ，即是化学方程式中该反应物分子式前的系数。

在应用质量作用定律的时候，要注意以下两点：

① 化学反应式仅指出原始的反应物质是什么，最后所得的生成物质是什么，并没有说明反应是怎样进行的。很多化学反应比较复杂，它们是分成若干个阶段进行的，也就是分为若干个连续的比较简单的反应进行的。质量作用定律只适用于每一个简单的基本反应，而不适用于总的反应。例如，下列反应：



从实验测得，其反应速度和氢的浓度一次方成正比，而不是和它的二次方成正比。研究结果指出，这个反应是按照下列连续的反应进行的：

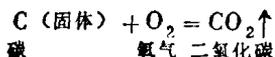


在这两步反应中，第二个反应进行得很快。显然，要使第二个反应发生，必须先有 H_2O_2 生成，但这一步反应很慢，总的反应速度就取决于第一步的反应速度。所以，总的反应速度是和氢浓度的一次方而不是和它的二次方成正比。

由此可见，质量作用定律在化学反应中的应用，必须以实验为依据，特别是对比较复杂的反应，必须具体情况进行分析，决不能仅仅以化学反应方程式来决定反应速度与反应物浓度间的定量关系。

②在质量作用定律中，所谓反应物的浓度是指气体物质的浓度或溶液的浓度，而不包括固体物质的浓度。

前面已经指出，当有固态物质参加反应时，反应只在固体表面上进行，所以反应速度和固体物质的表面积的大小有关，和扩散作用有关，而与固体物质的浓度无关。所以在质量作用定律的表示式中，就不包括固体物质的浓度。例如，碳的燃烧反应：



碳的燃烧反应速度，就浓度而言，只与氧气的浓度有关，即 $v = k[\text{O}_2]$ 。

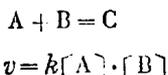
2. 温度对反应速度的影响

除浓度外，温度也是影响反应速度的重要因素。许多反应在常温下进行很慢，甚至不能被觉察，但在加热的情况下就能有显著地变化。例如，钢铁的氧化在常温时是比较缓慢的；当加热到 300°C 时，表面上已可看出有一层氧化物薄膜；达到 600°C 时，钢铁表面上很快地罩上一层氧化皮滓。

总结实验的结果表明：温度每升高 10°C ，一般反应的速

度增加一倍左右，但也有增加二倍或三倍的，甚至有增加几十倍的。

与温度的情况不同的是，浓度改变不能影响反应速度常数 (k)，而温度改变却能影响反应速度常数。例如，在下列反应中：



如果反应物浓度保持不变，即 $[\text{A}]$ 和 $[\text{B}]$ 都为定值，而改变反应的温度，这时反应速度 v 也就跟着改变，可见 k 是随温度改变的。通常温度增加， k 值增大。

通过上面的讨论指出，浓度、温度对反应速度都有影响。但是，浓度、温度到底是如何影响反应速度的呢？下面，我们用活化分子的理论来作简要的解释。

发生化学反应的先决条件，是反应物分子间要互相碰撞。但并不是反应物分子间的每一次碰撞都能产生反应。以气体间的反应来说，气体分子是以很大的速度向各个方向运动着，所以分子间的碰撞机会是很多的，如果每一次碰撞都能发生反应，则气体间的反应都能很快地完成。但事实并非如此，分子间的碰撞大多数是无效的，这些分子碰撞后没有起反应就分开了。我们知道，在同一温度时，气体分子具有大小不同的能量，只有那些具有较大能量的分子碰撞时才可能发生反应，这些分子称为活化分子。这种能发生反应的碰撞称为有效碰撞。有效碰撞的次数决定于活化分子的数目。一定的反应，在一定温度时，反应物分子总数中活化分子所占的百分数是一定的。因此，单位体积内活化分子的数目是和单位体积内反应物分子总数成正比；也就是和反应物的浓

度成正比。当反应物的浓度增大时，单位体积内活化分子的数目也就增多，这样就能使单位时间内所发生的有效碰撞次数增加，反应速度就增大。

温度升高时，分子的运动速度加大，因而使反应物分子间的碰撞次数增加，这样就可使反应速度加快。更重要的是，由于外界温度所供应的能量，使反应物分子中的活化分子的百分数增加了，这样就会在不增加反应物质浓度的情况下，增加单位体积内反应物的活化分子的数目，从而大大地增加单位时间内有效碰撞次数，所以反应速度也就显著增加。

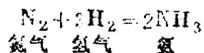
3. 催化剂对反应速度的影响

除浓度、温度外，催化剂也是影响反应速度的一个重要因素。我们知道，催化剂是一种能改变反应速度而本身的组成和重量在反应前后保持不变的物质。催化剂有时可以使反应速度增加到千万倍以上，因此，催化剂的应用在工业生产上很重要。据统计，目前化学工业的生产约有85%以上是借助于催化剂的作用来加速反应的。有了高效催化剂，合成氨才能实现工业化，其他如硫酸、硝酸的生产，以及许多主要有机物的合成等等，均要应用催化剂。

至于催化剂能够改变反应速度的原因，目前虽有不少解释，但尚没有完整的理论，这里也就不再介绍了。

习 题

1. 怎样表示化学反应速度？
2. 由氮、氢合成氨的反应为：



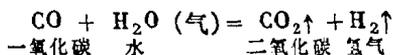
如以氮的浓度减少来表示反应速度为： $V_{N_2} = 0.1$ 克分子/升·秒，若用氢的浓度减少和氨的浓度增加来表示，反应速度 V_{H_2} 、 V_{NH_3} 各为多少？

(答： $V_{H_2} = 0.3$ 克分子/升·秒； $V_{NH_3} = 0.2$ 克分子/升·秒)

3. 影响反应速度的主要因素有哪些？

4. 什么叫质量作用定律？为什么在质量作用定律的数学表示式中
不写固体物质的浓度？

5. 在一定温度时，一氧化碳和水蒸气作用生成二氧化碳和氢气的
反应为：

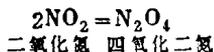


(1) 写出质量作用定律的数学表示式。

(2) 如果 CO 的浓度增大至原来的二倍，反应速度增大至原来的
几倍？

(3) 如果 CO 和 H_2O (气) 的浓度都增大至原来的 2 倍，反应速
度增大至原来的几倍？ (答：2 倍；4 倍)

6. 在一定温度时，二氧化氮(NO_2)聚合成四氧化二氮(N_2O_4)的反
应为：



(1) 写出质量作用定律的数学表示式。

(2) 要使反应速度增大至原来的四倍， NO_2 的浓度应增大至原
来的几倍？ (答：2 倍)

7. 如何用活化分子理论解释浓度、温度对反应速度的影响？

8. 为什么催化剂在化工生产上具有重要意义？

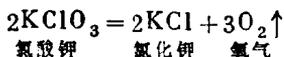
第二节 化学平衡

学习要求：

1. 明确化学平衡的意义。
2. 了解影响平衡移动的因素。
3. 掌握平衡移动的原理。

一、化学平衡的概念

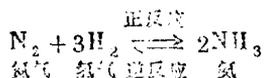
有的化学反应，能使反应物全部变成生成物，即所谓反应进行到底。例如，当氯酸钾(KClO_3)加热时，就可全部变成氯化钾(KCl)和氧(O_2)：



反过来，从氯化钾和氧制取氯酸钾，就我们目前所知的条件来说，是不可能的。因此，象氯酸钾分解这样的反应，可以认为是不可逆或单向的反应，也可称为完全反应。

如果在相同的条件下，两个相反方向的反应能同时进行，使任何一方向的反应不能进行到底的化学反应，称为可逆反应。例如，在一定条件下，氮气和氢气可以化合成氨；同时，生成的氨也可以分解为氮气和氢气。这种在相同条件下，既能向一个方向进行(如上例中由 N_2 和 H_2 生成 NH_3)；同时，又能向相反方向进行(如上例中由 NH_3 分解成 N_2 和 H_2)的化学反应，叫做可逆反应。为了表示反应的可逆性，通常在化学方程式中用两个方向相反的箭头来代替等号，如上述反应

可以写为:



一般把从左到右进行的反应叫做正反应，从右到左进行的反应叫做逆反应。

当反应开始时，正反应速度最大。随着反应的进行，氮和氢的浓度因不断消耗而逐渐减小，因此，正反应速度也相应地减小。另一方面，在混和物中从生成氨分子的一瞬间起，便产生了逆反应。反应开始时，氨分子的浓度最小，逆反应速度最小。随着反应的进行，氨分子的浓度逐渐增大，因此，逆反应速度也相应地增大。在正反应速度逐渐减小和逆反应速度逐渐增大的过程中，经过一段时间，将会达到这样一种情况，即正反应速度等于逆反应速度。此时，在单位时间内，正反应生成的氨分子数等于逆反应分解的氨分子数，因此，各反应物和生成物的浓度都保持不变。这种在一定条件下，可逆反应中正反应速度等于逆反应速度时的状态叫做化学平衡。

在反应达到平衡时，尽管反应物和生成物的浓度保持不变，实际上，正反应和逆反应仍在不断地进行，反应并未停止。不过，在单位时间内，每种物质消耗的数量和生成的数量相等，所以，化学平衡是一种动态平衡。

我们研究化学平衡，是为了掌握化学反应的客观规律性，以便应用化学平衡的原理，来衡量某一可逆反应在一定条件下所能进行的最大限度。也就是说，了解反应物在一定条件下转变成生成物的最大程度，这对于指导生产实践具有重要的意义。可逆反应达到平衡状态时，究竟有多少反应物转变成生成物，可以根据化学平衡常数推算出来。

二、化学平衡常数

利用质量作用定律来研究化学平衡，可以得出化学平衡常数的概念。设有下列可逆反应：



正、逆两反应速度与浓度的关系为：

$$v_{\text{正}} = k_{\text{正}}[A][B]$$

$$v_{\text{逆}} = k_{\text{逆}}[C][D]$$

式中 $v_{\text{正}}$ 和 $k_{\text{正}}$ 分别表示正反应的速度和反应速度常数， $v_{\text{逆}}$ 和 $k_{\text{逆}}$ 分别表示逆反应的速度和反应速度常数。达到平衡时：

$$v_{\text{正}} = v_{\text{逆}}$$

则

$$k_{\text{正}}[A][B] = k_{\text{逆}}[C][D]$$

或

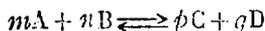
$$\frac{k_{\text{正}}}{k_{\text{逆}}} = \frac{[C][D]}{[A][B]}$$

由于 $k_{\text{正}}$ 和 $k_{\text{逆}}$ 在一定条件下都是常数，因此它们的比值也是常数，以 K 表示，则得：

$$K = \frac{[C][D]}{[A][B]}$$

常数 K 叫做平衡常数。

对于比较复杂的反应来说，例如：



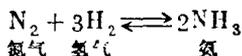
也可以写出

$$K = \frac{[C]^p \cdot [D]^q}{[A]^m \cdot [B]^n}$$

这就是质量作用定律应用于化学平衡时的数学表示式。必须指出：式中 $[A]$ 、 $[B]$ 、 $[C]$ 、 $[D]$ 分别表示在平衡状态时

A、B、C、D四种物质的浓度。浓度常用克分子/升来表示。通常把正反应的生成物的浓度写在分式的上面，把反应物的浓度写在分式的下面；而每种物质浓度的方次数，就是化学方程式中该物质分子式前的系数。

下面举例来说明平衡常数表示式的写法。例如，合成氨的反应：



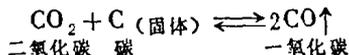
平衡常数表示式为：

$$K = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2][\text{H}_2]^3}$$

在应用平衡常数时，还必须注意以下几点：

1. 对于一定的反应来说，在一定温度时，平衡常数有一定的值，它不随物质的浓度而改变，但随温度而改变。因为 K 是 $k_{\text{正}}$ 和 $k_{\text{逆}}$ 的比值，由于反应速度常数 $k_{\text{正}}$ 、 $k_{\text{逆}}$ 和温度有关，所以平衡常数 K 也和温度有关；但浓度对 $k_{\text{正}}$ 、 $k_{\text{逆}}$ 没有影响，所以浓度的改变不会使平衡常数改变。

2. 如果有固体物质参加反应，由于固体的浓度不包括在质量作用定律的表示式中，因此，固体的浓度也不包括在平衡常数的表示式中。例如，二氧化碳和灼热的碳反应：



平衡常数为

$$K = \frac{[\text{CO}]^2}{[\text{CO}_2]}$$

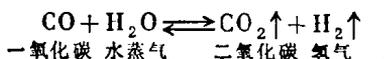
根据平衡常数 K 的大小，可以大致判断反应进行的程

度。例如，某个可逆反应在不同温度下进行，就会有不同的K值，K值越大，表示反应达到平衡时生成物浓度与反应物浓度的比值越大，也就是反应完成的程度越大^①，物质的转化率也越大。反之，K值越小，则反应完成的程度越小，物质的转化率也就越小。

所谓转化率，是指某反应物在一定条件下转化为生成物的程度，通常用平衡时已转化了的反应物的量和转化前该反应物总量之比来表示。

利用平衡常数可以计算出物质的转化率。

例如：在密闭容器中，将一氧化碳和水蒸气的混和物加热，则建立下列平衡：



在850°C时，平衡常数等于1.0，如果反应开始时，一氧化碳的浓度是2克分子/升，水蒸气的浓度是3克分子/升，求平衡时各物质的浓度和一氧化碳转化为二氧化碳的百分率。

解：设在平衡时，有x克分子/升的CO转化为CO₂，则根据化学方程式所表示的量的关系可以知道：

达到平衡时，有x克分子/升的CO因反应而消耗，同时必定生成x克分子/升的H₂和x克分子/升的CO₂。

达到平衡时，未反应的CO浓度应为(2-x)克分子/升，同样也有(3-x)克分子/升的水蒸气未反应，这也是这两种反应物平衡时的浓度。

^① 对不同的可逆反应来说，必须是同一类型的反应，在同样的条件下，才能进行比较。

所以：



反应开始时浓度(克分子/升) 2 3 0 0

平衡时浓度(克分子/升) 2 - x 3 - x x x

根据平衡关系 $K = \frac{[\text{CO}_2][\text{H}_2]}{[\text{CO}][\text{H}_2\text{O}]}$

将有关数值代入上式

$$1.0 = \frac{x \cdot x}{(2-x)(3-x)}$$

$$x^2 = 6 - 5x + x^2$$

$$x = \frac{6}{5} = 1.2$$

因此，平衡时各物质的浓度为：

$$[\text{CO}] = 2 - 1.2 = 0.8 \text{ 克分子/升}$$

$$[\text{H}_2\text{O}] = 3 - 1.2 = 1.8 \text{ 克分子/升}$$

$$[\text{CO}_2] = 1.2 \text{ 克分子/升}$$

$$[\text{H}_2] = 1.2 \text{ 克分子/升}$$

CO 转化为 CO₂ 的百分率为：

$$\frac{1.2}{2} \times 100\% = 60\%$$

三、平衡移动及影响平衡移动的因素

化学平衡只是在一定条件下才能保持相对的和暂时的平衡状态，当条件如浓度、温度、压力等发生改变时，平衡就被破坏，引起各物质浓度的变化，直至在新的条件下又建立起新的平衡。这种因条件的改变，平衡被破坏而引起浓度变化的过程，叫做化学平衡的移动。或者也可说，由于反应条件的变化而造成一个平衡状态向另一个平衡状态转化的过

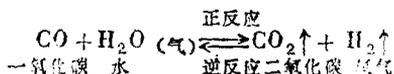
程，叫做化学平衡的移动。

下面，分别讨论浓度、压力、温度等条件对化学平衡的影响。

1. 浓度对化学平衡的影响

当一个可逆反应到达化学平衡的时候，改变任何一个反应物或生成物的浓度，都会改变正反应或逆反应的速度，使它们不再相等，从而破坏了化学平衡，而使平衡向某一方向移动。

例如，在密闭容器内进行的气相反应：

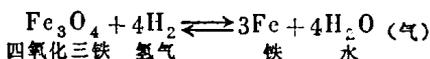


平衡时，正反应速度和逆反应速度相等，即 $v_{\text{正}} = v_{\text{逆}}$ 。如果加入 H_2O (气)，那末由于反应物水蒸气浓度的增大，会使正反应速度暂时大于逆反应速度，这样平衡就被破坏了。但是，随着反应的进行，由于 CO 和 H_2O (气) 的逐渐消耗，浓度减小，正反应速度也逐渐减小；同时由于生成物 (CO_2 和 H_2) 浓度逐渐增大，逆反应速度也相应增大，直至正、逆反应速度又相等时，反应就达到了新的平衡。对比原平衡状态，这时四种物质的浓度都改变了，其中 CO_2 和 H_2 的浓度，由于平衡移动的结果而比原来平衡时增大了，我们就说平衡是向生成 CO_2 和 H_2 的方向移动，或者说向正反应方向移动。如果我们增大 CO 的浓度或减小 CO_2 或 H_2 的浓度，平衡也是向正反应方向移动。相反，如果我们增大 CO_2 或 H_2 的浓度，或者减小 CO 或 H_2O (气) 的浓度，都会使平衡向逆反应方向移动，即向生成 CO 和 H_2O (气) 的方向移动。

通过上面的讨论，我们可将浓度对化学平衡的影响归纳

如下：在其它条件不变的情况下，增大反应物的浓度或者减小生成物的浓度，可使平衡向着正反应的方向移动；增大生成物的浓度或者减小反应物的浓度，可使平衡向着逆反应的方向移动。

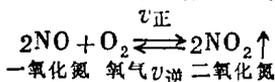
浓度的改变引起化学平衡移动的规律是很重要的。在实际应用中，常常采用增大反应物浓度或减小生成物浓度的办法，使反应尽可能地进行完全。例如，上述的一氧化碳和水蒸气的反应 ($\text{CO} + \text{H}_2\text{O}(\text{气}) \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2$)，为了提高 CO 的转化率，产生更多有用的氢气，在生产上就加入廉价的过量水蒸气。又如，通氢于红热的四氧化三铁时，发生下列反应：



如果反应不是在密闭容器内进行，由于反应生成的水蒸气随着过剩的氢不断从反应器中逸出，四氧化三铁就能全部变成金属铁。如果在密闭容器内，这反应就不能进行到底。

2. 压力对化学平衡的影响

在有气体参加的可逆反应中，压力的改变可能会引起平衡的移动。在温度不变的情况下，如果增加压力，气体体积减小，气体的浓度就会相应地增大。因此，压力对平衡的影响实际上和浓度的影响相同。例如下列反应：



在一定温度下到达平衡时，正反应速度($v_{\text{正}}$)和逆反应速度($v_{\text{逆}}$)分别为：

$$v_{\text{正}} = k_{\text{正}}[\text{NO}]^2[\text{O}_2]$$

$$v_{\text{逆}} = k_{\text{逆}}[\text{NO}_2]^2$$

此时

$$v_{\text{正}} = v_{\text{逆}}$$

假设在此平衡时NO、O₂和NO₂的浓度分别为a、b和c，
则：

$$v_{\text{正}} = k_{\text{正}}a^2 \cdot b$$

$$v_{\text{逆}} = k_{\text{逆}}c^2$$

此时，如果将气体的总压力增大到原来的2倍，则气体的体积缩小至原来的 $\frac{1}{2}$ ，而各气体物质的浓度将相应地增加到原来的2倍。此时正、逆反应速度各为：

$$v'_{\text{正}} = k_{\text{正}}(2a)^2 \cdot (2b) = 8k_{\text{正}}a^2 \cdot b$$

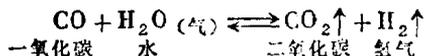
$$v'_{\text{逆}} = k_{\text{逆}}(2c)^2 = 4k_{\text{逆}}c^2$$

由此可以看出：正反应速度增加到原来平衡时的8倍，而逆反应速度只增加到原来平衡时的4倍，由于 $v'_{\text{正}}$ 大于 $v'_{\text{逆}}$ ，平衡被破坏，向着生成NO₂的方向移动。相反地，如将气体的总压力减小到原来的 $\frac{1}{2}$ ，则气体的体积膨胀到原来的2倍，而各气体物质的浓度也都相应地减小到原来的 $\frac{1}{2}$ 。这时，正反应速度减小到原来平衡时的 $\frac{1}{8}$ ，而逆反应速度减小到原来平衡时的 $\frac{1}{4}$ ，这样逆反应速度大于正反应速度，平衡也被破坏，但平衡是向着逆反应方向移动，即向生成NO和O₂的方向移动。

显然，增加或减小压力是使平衡移动的关键，在于反应前后气态物质的分子数发生了变化。上例中反应前NO、O₂分子总数为3，反应后生成2分子的NO₂，即反应后比反应前的分子总数减少了，因此增加或减小压力，对正、逆两反应的速度发生了不同的影响，引起了平衡的移动。

如果在反应前、后气体分子的总数不变，也就是反应方

程式两边气态物质的分子总数相等时，则无论增加或减小压力，都不能使平衡移动。例如：

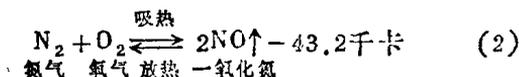
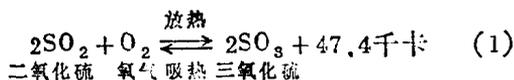


压力对于上述反应的平衡是没有影响的。因为方程式两边气体的总分子数相等，都是2。改变压力对于正、逆两反应速度的影响相同，所以不能破坏平衡。

因此，压力对化学平衡的影响可归纳如下：当其它条件不变时，增大压力，平衡向生成气体分子数较少的方向移动；减低压力，平衡向生成气体分子数较多的方向移动。如果反应前和反应后的气体分子数相等，压力改变对化学平衡没有影响。

3. 温度对化学平衡的影响

化学反应伴随有热量的变化。放出热量的反应叫做放热反应；吸收热量的反应叫做吸热反应。放热反应的热量在反应式中用“+”号表示；吸热反应用“-”号表示。不论放热或吸热，都把热量写在反应式的右方。对于同一可逆反应来说，如果正反应方向是放热的，那么逆反应方向就是吸热的，反之，如果正反应方向是吸热的，那么逆反应方向就是放热的。例如：



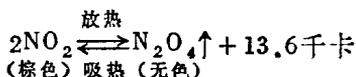
对(1)反应来说，正反应表示2克分子SO₂和1克分子O₂起反应而生成2克分子SO₃时放出47.4千卡的热量，所以正

反应是放热反应。而逆反应表示 2 克分子 SO_3 分解成 2 克分子 SO_2 和 1 克分子 O_2 时，需要吸收 47.4 千卡的热量，所以逆反应是吸热反应。

对反应(2)来说，正反应表示 1 克分子 N_2 和 1 克分子 O_2 起反应生成 2 克分子 NO 时要吸收 43.2 千卡的热量(吸热反应)，而逆反应表示从 2 克分子 NO 分解为 1 克分子 N_2 和 1 克分子 O_2 时应该放出 43.2 千卡的热量(放热反应)。

我们知道温度可以影响反应速度。但是温度是怎样影响处于平衡状态中正、逆两个反应的速度，从而改变化学平衡的呢？让我们先来观察下面的实验。

二氧化氮 (NO_2) 和四氧化二氮 (N_2O_4) 存在着以下的平衡：



二氧化氮是棕色气体，四氧化二氮是无色气体。在一定条件下，这两种气体处于平衡状态时，混合气体呈现一定的棕色。现在，我们按图 5—1 的装置，在两个连通着的烧瓶里盛有 NO_2 和 N_2O_4 达到平衡时的混合气体，把一个烧瓶放入热水里，把另一个烧瓶放入冰水里。稍待片刻后可以看到，放入热水里的那个烧瓶，瓶内棕色比原来的加深，即 NO_2 的浓度比原来平衡时增大了，这说明混和气体受热后，平衡向生

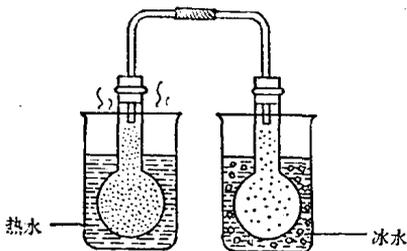


图 5—1 温度对化学平衡的影响
(图中黑点的多少表示 NO_2 分子的多少)

成 NO_2 的方向移动，也就是向吸热反应的方向移动。与此相反，放入冰水里的那个烧瓶瓶内棕色比原来的变浅，即 NO_2 的浓度比原来平衡时减小了，这说明混和气体冷却后，平衡向生成 N_2O_4 的方向移动，也就是向放热反应的方向移动。

根据实验结果，温度对化学平衡的影响可以归纳如下：
在其它条件不变时，温度升高，平衡向着吸热反应的方向移动；温度降低，平衡向着放热反应的方向移动。

温度对平衡影响的实质是：温度对于正、逆两反应速度的影响是不同的，升高温度使正、逆两反应速度同时增加，但是两者增加的倍数不同，升高温度会使吸热反应的速度比放热反应的速度增加得更多一些，这样就破坏了正、逆两反应速度的均等，平衡就向着吸热的方向移动。

前面已经指出，反应速度常数 (k) 与温度有关。温度改变时，正、逆两反应速度常数 $k_{\text{正}}$ 和 $k_{\text{逆}}$ 改变的倍数也是不同的，由于平衡常数 $K = \frac{k_{\text{正}}}{k_{\text{逆}}}$ ，所以温度改变时，平衡常数 K 就要改变。

4. 平衡移动的普遍规律——平衡移动原理

通过上面的讨论可以知道，在可逆反应中，正反应和逆反应是一对矛盾，在一定的条件下，它们可以保持相对的、暂时的平衡。当外界条件发生变化时，矛盾的双方各向其相反的方向转化。因此，浓度、温度、压力等因素对化学平衡的影响可以概括成为一个普遍的规律：假如改变平衡体系中的条件，如浓度、温度或压力，平衡就向能减弱这个改变的方向移动。这个规律叫做平衡移动原理。具体地说，在平衡体系内：（1）增大反应物的浓度，平衡将向减小反应物浓

度即向生成物的方向移动；减小生成物的浓度，平衡将向增大生成物浓度的方向移动。（2）升高温度，平衡将向降低温度即吸热反应的方向移动；降低温度，平衡将向升高温度即放热反应的方向移动。（3）对有气态物质参加的平衡体系增大压力，平衡将向减小压力即气体分子数少的方向移动；对有气态物质参加的平衡体系减小压力，平衡将向增大压力即气体分子数多的方向移动。

平衡移动原理对于所有的动态平衡都是适用的，包括物理平衡在内。例如，液体与它的蒸气间的平衡是物理平衡：

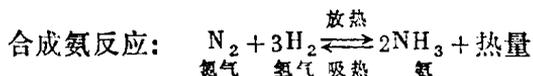


液体变成蒸气是吸热变化，蒸气变成液体是放热变化。如果在气液共存的温度范围内，升高温度，平衡就向吸热的方向移动，这样将使更多的液体蒸发；降低温度，平衡就向放热的方向移动，这样将使更多的蒸气液化。

应该注意，催化剂能在很大程度上改变化学反应的速度，但是在可逆反应中，由于催化剂能同等程度地增加正反应和逆反应的速度，因此它对化学平衡没有影响。可是，使用催化剂能使反应比较迅速地达到平衡，即缩短了到达平衡所需要的时间，这样就能提高劳动生产率。因此，催化剂在工业生产中的作用是很大的。

通过本章的学习，我们不仅要懂得化学反应速度和化学平衡的规律，更重要的是应学会运用这些规律去解决生产实际问题。化工生产的情况比较复杂，因为一个化学反应，往往同时受着浓度、压力、温度、催化剂等许多条件的影响，而且这些条件又是相互密切联系的，另外，在生产实践中还

有技术、设备等问题。所以必须根据实际情况，综合考虑反应速度和化学平衡两个方面的因素，合理地采取措施。现在以 N_2 、 H_2 合成 NH_3 的工业生产为例进行讨论。



这是一个可逆反应，正反应是气体分子数减少的反应，又是放热反应。

根据平衡移动原理，降低温度，平衡向生成 NH_3 的方向移动，有利于增加氨的浓度。但是，在实际生产过程中，如果采用了太低的温度，就会使反应速度太慢，即单位时间内的产量很低，以致在工业上失去实用价值。这个矛盾的解决，是靠选用合适的催化剂，使反应既能在较低温度中进行，又能保证一定的反应速度，以符合生产实际的需要。但催化剂有一定的活性温度，催化剂只有在活性温度范围内才有较高的催化能力，而温度太高时，又使催化剂很快衰老，增加生产成本和操作上的麻烦。据资料介绍，目前我国使用的合成氨催化剂，活性温度为 $400\sim 520^\circ C$ ，因此反应温度也应控制在这一范围内较为合适。

根据合成氨反应是分子数减少的反应这一特点，增加压力使平衡向生成氨的方向移动，有利于氨的合成。但在实际生产中，除了考虑化学平衡这一因素外，还要同时考虑设备材料、动力消耗以及在操作技术上所增加的困难等问题。用高压法合成氨虽然产量大，但需要耐高压的设备，对材料的质量要求高，投资也大。因此，在目前合成氨工业里，一般以中压法(300大气压左右)生产为多。

化工生产既要速度快，又要转化率高，因此，必须综合

考虑外界条件对化学反应速度及化学平衡的影响。通过上例合成氨生产条件的讨论，可以帮助我们理解，怎样综合考虑速度与平衡来选择适宜的生产条件。

习 题

1. 什么是可逆反应？什么是化学平衡？为什么说化学平衡是一种动态平衡？

2. 有人说：达到平衡时，正反应速度与逆反应速度相等，所以反应物的浓度与生成物的浓度也相等。这种说法对吗？为什么？

3. 什么是平衡常数？怎样写平衡常数表示式？试举一例说明。

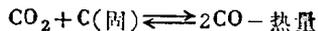
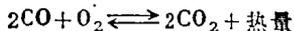
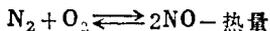
4. 在一定温度和压力下，
$$\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$$
反应达到平衡时，各物质的浓度是： $[\text{N}_2] = 3$ 克分子/升， $[\text{H}_2] = 8$ 克分子/升， $[\text{NH}_3] = 4$ 克分子/升，试计算平衡常数及氮和氢的最初浓度。

(答：0.0104， 5克分子/升， 14克分子/升)

5. 什么是化学平衡的移动？哪些因素影响化学平衡的移动？怎样影响？

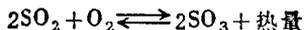
6. 催化剂能改变反应速度，为什么对化学平衡没有影响？而在化工生产中，为什么却又常常使用催化剂？

7. 下列反应达到化学平衡时：



如果(1)降低温度，(2)增大压力，平衡向哪一方向移动？

8. 二氧化硫转化为三氧化硫的反应如下：



为什么硫酸工厂采取下列生产措施：

(1) 通入过量的空气；

(2) 适当较低的温度；

(3) 采用五氧化二钒(V_2O_5)为催化剂。

第六章 溶 液

我们日常生活中经常接触到的盐水、糖水、食醋、碘酒都是溶液。在农业生产方面,农药、化肥有的是配成溶液来使用,许多化学反应也都是在溶液中进行的,溶液跟工农业生产有着密切关系,因此,研究溶液有着极为重要的意义。

第一节 悬浊液 乳浊液和溶液的一般概念

学习要求:

了解悬浊液、乳浊液和溶液的一般概念,以及溶剂、溶质的相对意义。

为了了解悬浊液、乳浊液和溶液的区别,我们首先做以下的实验。

把少量泥土、煤油、食盐和糖,分别放在四只试管中,然后各加入少半试管水,充分振荡后,可以看到:放有泥土的试管里,液体变浑浊,其中悬浮着很多固体小颗粒,这些小颗粒是由很多分子集合成的,放置一段时间后,就会沉降下来。这种悬浮着固体小颗粒的液体叫做悬浊液。例如,浑浊的河水,杀虫用的可湿性六六六药液,都是悬浊液。

放有煤油的试管,经激烈振荡后,得到的是乳状浑浊的

液体，在这种液体中悬浮着很多小液滴。这些小液滴也是很多分子集合成的，放置一段时间后，液体分成两层。这种悬浮着小液滴的液体叫做乳浊液。农业上用来杀虫的滴滴涕乳剂就是乳浊液。

放有食盐和糖的试管，经振荡后，得到的都是透明、澄清的液体。这是因为食盐和糖在水中逐渐分散成肉眼看不见的离子和分子（食盐以离子状态分散到水中，糖以分子状态分散到水中。这一内容，在第七章再进一步说明），这些离子和分子均匀分布在水分子之间，形成的透明、澄清的液体叫做溶液。如果温度不变，水分不蒸发，溶液就能保持透明澄清的状态。

一种物质以分子或离子的状态均匀地分布在另一种物质之中，所得到的均匀稳定的混合物，叫做溶液。一种物质以分子或离子状态进入另一种物质的过程叫溶解。能溶解别种物质的物质（本书指液体）叫做溶剂。被溶剂溶解的物质叫做溶质。例如，盐溶解在水中，水是溶剂，盐是溶质，形成的溶液叫做盐的水溶液，简称盐溶液。医用碘酒就是碘溶解在酒精里的溶液。用汽油洗去衣物上的油渍，就是油脂溶解在汽油里并随汽油挥发的缘故。

化学上所说的溶液，一般是指用水做溶剂配制成的溶液，叫做水溶液，常简称溶液。

溶剂和溶质是相对而言的，为了便于讲清问题，通常把单独存在时和形成溶液时状态相同的那种物质看作溶剂。例如，通常情况下，盐在单独存在时是固态，水在单独存在时是液态，形成的盐溶液是液态，溶液的状态和水单独存在时的状态相同，所以把水看作是溶剂，盐看作是溶质。总之，

当固体或气体溶解在水中组成水溶液时，常把水当溶剂，固体或气体当溶质。如果液体溶于液体，也就是说，组成溶液的各物质的状态和形成溶液的状态都相同时，通常把溶液中含量多的那一种物质叫溶剂，含量少的那种物质叫溶质。例如，少量酒精溶解在大量水中，就把水看作是溶剂，酒精看作是溶质，形成的溶液叫做酒精的水溶液，简称酒精溶液。如果把少量水溶解在大量酒精中，则把水看作是溶质，酒精看作是溶剂，形成的溶液叫做水的酒精溶液。如果酒精和水的含量差不多时，这时可以把其中任一个看作是溶剂，另一个看作是溶质。

习 题

1. 什么叫做溶剂、溶质和溶液？举例说明。
2. 说明悬浊液、乳浊液和溶液的区别。举出几种工农业生产中的实例。
3. 工人手上沾了机油为什么要用汽油才能洗掉？
4. 酒精的水溶液和水的酒精溶液，这两种说法有什么不同？

第二节 饱和溶液和不饱和溶液

学习要求：

1. 掌握饱和溶液和不饱和溶液的意义。
2. 认识动态平衡的意义。

一、饱和溶液和不饱和溶液的一般概念

一般情况下，大多数的物质不是无限制地溶解到溶剂中

去的。例如，在一定温度下，一定量的水中只能溶解一定量的食盐，若再加进去食盐就不能溶解了。这种食盐溶液叫做食盐的饱和溶液。在一定温度下，不能再溶解某种溶质的溶液，叫做这种溶质的饱和溶液；还能继续溶解某种溶质的溶液，叫做这种溶质的不饱和溶液。

例如，取两只试管，各盛 2 ~ 3 毫升水，分别一点一点地加入食盐和硝酸钾的固体，同时振荡试管，到试管里的固体有剩余，再不能溶解为止。这就制成了在此温度下的食盐饱和溶液和硝酸钾饱和溶液。

二、物质的溶解过程

上面，我们讨论了饱和溶液的一般概念，下面，我们从物质的溶解过程进一步认识饱和溶液的实质。

我们已经知道，溶液是由溶剂和溶质所组成的。当把固体物质放到溶剂（水）中时，溶质表面的一些粒子（分子或离子）由于本身的振动和受极性水分子的吸引，就离开了溶质的表面而进入水中，并均匀地扩散到水的各个部分而形成溶液，这是溶解的过程。在溶解的同时，还有一个相反的过程（逆过程），就是当已溶解的溶质粒子，在水中运动，撞击着尚未溶解的溶质表面时，又可能重新被吸引住，回到固体上来，这个过程叫做结晶。结晶过程中析出一定几何形状的晶体，结晶后剩余的溶液通常叫母液。当把足够的固体物质放入溶剂中，在开始时，溶液中溶质的粒子数很少，溶液中的溶质粒子回到固体溶质上的数目当然也很少，此时，溶解速度必然大于结晶速度。也就是说，这时，溶质溶解到溶剂中去的过程占优势，在溶解与结晶这对矛盾中，溶解是矛盾的主要方面。因此，表现出来的就是固体溶质的不断溶

解。当溶质的粒子以聚集为晶体占优势时，结晶速度大于溶解速度，这时结晶是矛盾的主要方面。在这种情况下，表现为溶质的不断结晶。当固体溶质不断溶解时，随着溶解的进行，溶液中溶质粒子的数目逐渐增加，结晶速度也就渐渐地增大了，到一定的时候，结晶速度和溶解速度达到了相等。这时，在单位时间内从固体溶质溶解到溶液中去粒子数，和已溶解到溶液中的溶质粒子回到固体上的粒子数相等。

在一定条件下，溶解速度和结晶速度达到相等时，我们说溶解和结晶达到了平衡状态。若用向右的箭头“→”表示溶解过程，用向左的箭头“←”表示结晶过程，则以下式表示溶解和结晶建立的平衡关系：

未溶解的固体溶质 \rightleftharpoons 溶液中的溶质

这时，溶液中存留的溶质粒子数不再改变。从表面看来，固体溶质不再溶解了，我们说，溶液已达到了饱和状态，但实际上溶解和结晶并没有停止，而仍在不断地进行着，只是溶解速度和结晶速度达到了相等就是了。所以，这样的平衡本质上是动的平衡，叫做动态平衡。根据平衡观点：在一定温度下，已溶解的溶质和溶解后剩余的溶质达到动态平衡时的溶液叫做饱和溶液。在溶解过程中，溶解速度大于结晶速度的溶液叫做不饱和溶液。

平衡是暂时的、有条件的。当改变溶液的温度或溶剂的量时，平衡被破坏，就会出现新的溶解或结晶的过程，这可用以下的实验来说明。

例如，改变溶液的温度，取硝酸钾 (KNO_3) 饱和溶液加热，能看到原来未溶解的硝酸钾又继续溶解。然后在加热的溶液里再继续一点一点地加入硝酸钾的固体达到饱和为止。

将加热形成的硝酸钾饱和溶液冷却，就会看到又有硝酸钾晶体析出。

又如，改变溶剂的量，取少量食盐饱和溶液，加入少量水振荡，固体食盐则又逐渐溶解。

在农业上也常遇到结晶现象。例如，盐碱地面上常出现白色晶体，这是土壤中盐溶液的水分蒸发后，在土壤表面析出了盐碱的结晶。这种盐碱地对农作物生长非常不利。

化工生产和科学实验中，常利用结晶法制取和提纯物质。我们掌握了溶解与结晶的规律，就可以更好地为生产服务。

习 题

1. 举例说明饱和溶液和不饱和溶液的意义。
2. 举例说明动态平衡。

第三节 物质的溶解度

学习要求：

1. 明确物质的溶解度的意义，并能进行有关溶解度方面的计算。
2. 掌握一般常用酸、碱、盐的溶解性。
3. 认识结晶在生产上的应用。

一、溶解度的意义

我们知道，在相同条件下，有些物质容易溶解在水里，如食盐；有些物质却很难溶解在水里，如碳酸钙。可见各种物质在同一溶剂里溶解的能力是不一样的，一种物质溶解在

另一种物质里的能力叫做溶解性。我们通常用溶解度来表示各种物质在一定条件下溶解能力的大小。在一定温度下，某种物质在100克溶剂里制成饱和溶液时所溶解的克数，叫做这种物质在这种溶剂里的溶解度。或者说某种物质在某溶剂里的溶解度，就是在一定温度下，某种物质在100克某溶剂里所能溶解的最大克数。如果不指明溶剂，通常所说的溶解度就是指物质在水里的溶解度。例如在 20°C 时，氯酸钾(KClO_3)的溶解度为7.3克。这就是说，在 20°C 时，100克水中最多能溶解氯酸钾7.3克。也就是在 20°C 时，100克水中溶解有7.3克氯酸钾时，就制得了氯酸钾的饱和溶液。

自然界中没有绝对不溶解的物质，但是有很多物质的溶解度非常小，习惯上把溶解度很小的物质叫做“不溶”物质。例如在 20°C 时，氯化银(AgCl)的溶解度为 1.5×10^{-4} 克，所以就把氯化银叫做“不溶”物质。

在常温下，物质的溶解度在10克以上的，叫做易溶物质；少于1克的，叫做微溶物质；少于0.01克的，叫做不溶物质；在10克和1克之间的，就是一般能溶解的物质。

一切物质的溶解度都和温度有关。因此，在提到溶解度时必须写明温度。大多数固体的溶解度随着温度的增加而增大。下面列出了常用的几种固态物质的溶解度(见表6-1)和酸、碱、盐的溶解性表(见表6-2)。

从下表可以看出：

1. 钠和钾的盐以及硝酸盐都溶于水。
2. 氯化物中除氯化银(AgCl)、氯化亚汞(Hg_2Cl_2)不溶于水，氯化铅(PbCl_2)微溶于水外，一般都溶于水。
3. 硫酸盐中除硫酸钡(BaSO_4)、硫酸铅(PbSO_4)不溶于

水,硫酸钙(CaSO_4)、硫酸亚汞(Hg_2SO_4)、硫酸银(Ag_2SO_4)微溶于水外,一般都溶于水。

4. 氢硫酸盐除硫化钾(K_2S)、硫化钠(Na_2S)、硫化钡(BaS)、硫化镁(MgS)溶于水,硫化钙(CaS)微溶于水外,一般都不溶于水。

5. 亚硫酸(H_2SO_3)、碳酸(H_2CO_3)、硅酸(H_2SiO_3)和磷酸(H_3PO_4)的盐,除它们的钾盐、钠盐溶于水外,一般都不溶于水。

表 6—1 几种固态物质在水中的溶解度

物质名称	100克水中最多能溶的克数		物质名称	100克水中最多能溶的克数	
	20°C	100°C		20°C	100°C
氯化银 (AgCl)	1.5×10^{-4}	0.0021	氯化钾 (KCl)	34	56.7
硝酸银 (AgNO_3)	218	910	碘化钾 (KI)	144	208
氯化钡 (BaCl_2)	35.7	58.8	氢氧化钾 (KOH)	112	178
氢氧化钙 $\text{Ca}(\text{OH})_2$	0.165	0.077	硫酸镁 (MgSO_4)	36	68
硫酸钙 (CaSO_4)	0.200	0.162	七水硫酸镁 ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	71	91(40°C)
五水硫酸铜 ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	31.6(0°C)	203.3	氯化钠 (NaCl)	36.0	39.1
三氯化铁 (FeCl_3)	91.9	537	氢氧化钠 (NaOH)	109	347
氯化汞 (HgCl_2)	6.6	55	亚硫酸钠 (Na_2SO_3)	26.9	28.3 (80°C)
氯化亚汞 (Hg_2Cl_2)	2×10^{-4}	0.001 (43°C)	硫酸钠 (Na_2SO_4)	19.4	42.5

表 6—2

酸、碱、盐在水中的溶解性表

氢离子和金属离子	金 属 离 子																	
	K+	Na+	Ba ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	Mn ²⁺	Zn ²⁺	Cr ³⁺	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Sn ²⁺	Pb ²⁺	Bi ³⁺	Cu ²⁺	Hg ²⁺	Hg ²⁺	As ⁺
H+	溶	溶	溶	溶	微	溶	溶	溶	不	不	不	不	不	不	不	不	不	不
OH-	溶	溶	溶	溶	微	溶	溶	溶	不	不	不	不	不	不	不	不	不	不
NO ₃	溶、挥	溶	溶	溶	溶	溶	溶	溶	溶	溶	溶	溶	溶	溶	溶	溶	溶	溶
Cl-	溶、挥	溶	溶	溶	溶	溶	溶	溶	溶	溶	溶	溶	溶	溶	溶	溶	溶	溶
SO ₄ ²⁻	溶	溶	不	溶	微	溶	溶	溶	不	不	不	不	不	不	不	不	不	微
S ₂ -	溶、挥	溶	溶	溶	微	溶	—	—	—	—	—	不	不	不	不	不	不	不
SO ₃ ²⁻	溶、挥	溶	不	溶	微	—	—	—	—	—	不	不	不	不	不	不	不	不
CO ₃ ²⁻	溶、挥	溶	不	溶	不	—	—	—	—	—	不	不	不	不	不	不	不	不
SiO ₃ ²⁻	微	溶	不	溶	不	不	不	不	不	不	不	不	不	不	不	不	不	不
PO ₄ ³⁻	溶	溶	不	溶	不	不	不	不	不	不	不	不	不	不	不	不	不	不

说明：“溶”表示这种物质能溶于水，“不”表示不溶于水，“微”表示微溶于水，“挥”表示挥发性酸，“—”表示这种物质不存在或碰到水就分解。

二、温度、压力对溶解度的影响

物质溶解度的大小，不但由溶质和溶剂本身的性质所决定，温度和压力也是影响物质溶解度的重要因素。实验证明，物质的溶解度随着温度的变化而变化。

为了清楚地表示温度对于各种物质溶解度的影响，可以把溶解度和温度的关系画成一条曲线，这就叫溶解度曲线。今以硝酸钾的溶解度和温度的关系为例，来说明溶解度曲线的画法。

下面列出了硝酸钾(KNO_3)在各种温度下的溶解度：

温度($^{\circ}\text{C}$)	0	20	40	60	80	100
溶解度(克)	13.5	31.5	64	110	169	247

见图6—1，用横轴表示温度，用纵轴表示以克为单位的溶解度，在垂直于横轴的各直线上，用“点”标出和该温度相当的溶解度。A点表示和 0°C 相当的溶解度(13.5克)，B点表示和 20°C 相当的溶解度(31.5克)，C点表示和 40°C 相当的溶解度(64克)，D点表示和 60°C 相当的溶解度(110克)，然后把所标的A、B、C、D各点用线连接起来，就可得到硝酸钾的溶解度曲线。

图6—2标出了多种物质的溶解度曲线。从这些曲线中可以看出，大部分固体物质的溶解度随着温度的升高而增大，如硝酸钾、明矾和氯酸钾等；少数固体物质的溶解度受温度影响很小，如食盐。还有个别固体物质随温度的升高溶解度反而减小，如熟石灰(见图6—3)和硫酸钙等。

三、气体的溶解度

气体的溶解度通常用溶解在一定体积溶剂里的气体的体积来表示。例如，在 20°C 和一个大气压下，1体积的水只能

溶解0.031体积的氧气。

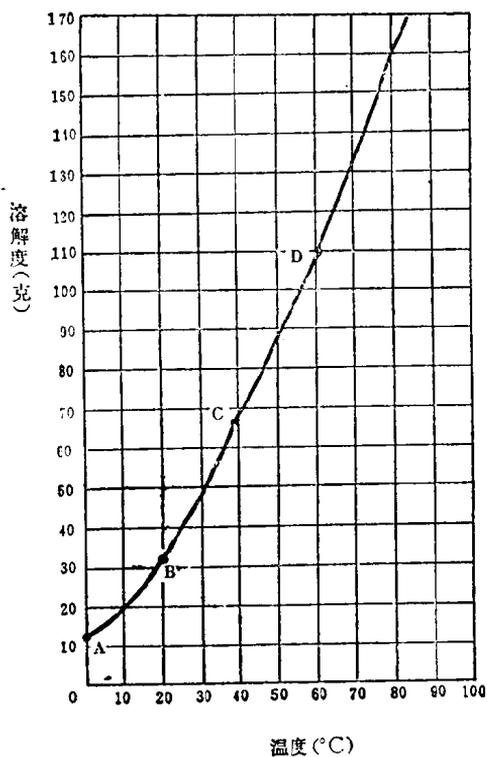


图 6—1 硝酸钾的溶解度曲线图

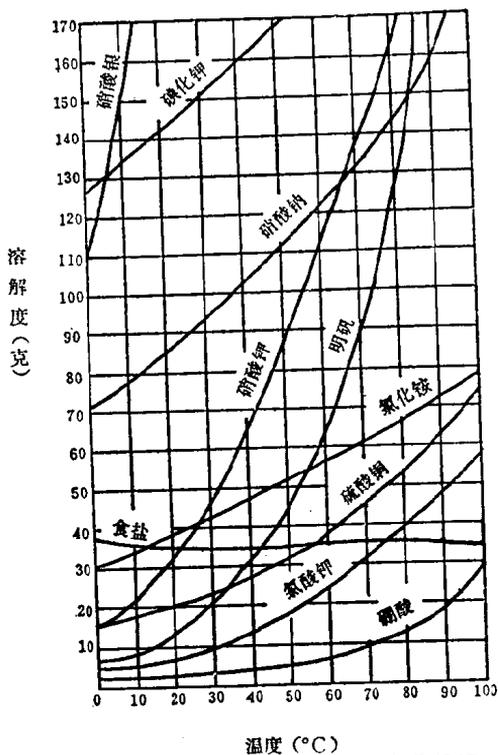


图 6—2 多种物质的溶解度曲线图

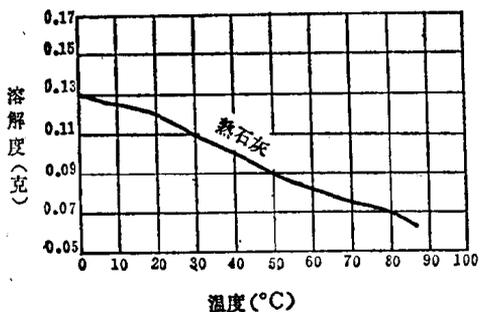


图 6—3 熟石灰的溶解度曲线

气体的溶解度随温度的升高而减小，这可用下面的实验来说明：

在试管里盛满清水，用酒精灯在试管侧部加热（见图6—4），我们就可以看到试管的顶部集有气泡。

上面的实验说明，溶在水里的空气，经加热后，空气因在水中的溶解度减小而逸出。这是因为温度升高，气体的溶解度减小，温度降低，气体的溶解度增大。

除温度外，压力对气体的溶解度也有影响。压力增大，气体的溶解度增大；压力减小，气体的溶解度就减小。例如，汽水是在加压下使二氧化碳溶解在水里而制成的，开启瓶盖的时候，因为压力减小，二氧化碳的溶解度降低，所以大部分二氧化碳立刻放出，发生泡沫。

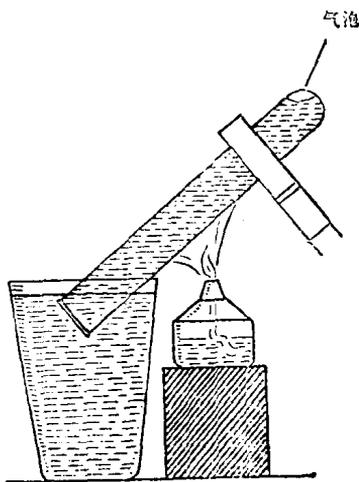


图6—4 溶于水的空气加热后溶解度减小而逸出

四、有关溶解度的计算

1. 已知某温度下某物质的饱和溶液中溶剂和溶质的重量，求这物质的溶解度。

【例1】在 50°C 时，2.5克氯酸钾溶解在12.5克水里，制成饱和溶液，求氯酸钾在 50°C 时的溶解度。

【解】已知：在 50°C 时2.5克氯酸钾溶解在12.5克水里

制成饱和溶液。求氯酸钾在 50°C 时的溶解度。按溶解度定义，也就是求在 50°C 时，氯酸钾溶解在100克水里制成饱和溶液时所溶解的克数。设在 50°C 时， x 克氯酸钾溶解在100克水里制成饱和溶液，则：

$$12.5:100 = 2.5:x$$

$$\therefore x = \frac{100 \times 2.5}{12.5} = 20 \text{克}$$

答：氯酸钾在 50°C 时的溶解度为20克。

【例2】取 20°C 的硝酸钾饱和溶液50克，蒸干得到硝酸钾(KNO_3)12克。求硝酸钾在 20°C 的溶解度。

【解】求硝酸钾在 20°C 的溶解度。按溶解度定义，也就是求 20°C 时，硝酸钾在100克水里制成饱和溶液时所溶解的克数。

已知： 20°C 的硝酸钾饱和溶液50克，蒸干得到硝酸钾12克，这说明其中的水为： $50 \text{克} - 12 \text{克} = 38 \text{克}$ 。也就是在 20°C 时，12克硝酸钾溶解在38克水里制成饱和溶液。设：在 20°C 时， x 克硝酸钾溶解在100克水里制成饱和溶液，则：

$$38:100 = 12:x$$

$$\therefore x = \frac{100 \times 12}{38} = 31.57 \text{克}$$

答：硝酸钾在 20°C 时的溶解度为31.57克。

2. 已知某物质在某一定温度的溶解度，计算它的饱和溶液里，溶质和溶剂的重量。

【例1】根据溶解度曲线得知， 50°C 时氯化铵(NH_4Cl)的溶解度为50克，求225克氯化铵饱和溶液中有氯化铵多少克？

【解】 50°C 时氯化铵的溶解度为50克，也就是说，在 50°C 时，100克水中溶解氯化铵50克制得饱和溶液。此时

饱和溶液的总重为水与氯化铵重量之和，等于150克。

由上得知：在 50°C 时，150克氯化铵饱和溶液中有氯化铵50克。

求：在 50°C 时，225克氯化铵饱和溶液中有氯化铵多少克。设有氯化铵 x 克，则：

$$150:225 = 50:x$$

$$\therefore x = \frac{225 \times 50}{150} = 75 \text{克}$$

答：在 50°C 时，225克氯化铵饱和溶液里含氯化铵75克。

【例2】根据溶解度曲线得知， 50°C 时氯化铵的溶解度为50克。求在 50°C 时，150克氯化铵溶解在多少克水里，才能制成饱和溶液。

【解】已知： 50°C 时氯化铵的溶解度为50克，也就是说，在 50°C 时，50克氯化铵溶解在100克水里，制成饱和溶液。

求：在 50°C 时，150克氯化铵溶解在多少克水里制成饱和溶液。设溶解在 x 克水里，则：

$$50:150 = 100:x$$

$$\therefore x = \frac{150 \times 100}{50} = 300 \text{克}$$

答：在 50°C 时，150克氯化铵溶解在300克水里，才能制成饱和溶液。

五、结晶在生产中的应用

结晶法是化工生产、科学实验中制取物质和提纯物质的重要方法之一。使溶液中溶质结晶析出，通常有两种方法。

1. 如果温度对溶质的溶解度影响不大时, 可以采用蒸发的方法进行结晶. 即将溶剂慢慢蒸发, 溶液达到饱和后, 使溶剂仍继续蒸发, 过剩的溶质即成晶体析出. 例如, 从海水中晒制食盐, 就是蒸发水分, 使食盐结晶出来.

2. 如果温度对溶质的溶解度影响较大时, 我们可以采用冷却结晶法. 也就是用降温的方法, 使溶质结晶出来. 例如, 我国内蒙古、宁夏、新疆和西藏的内陆湖泊里, 含有大量天然碳酸钠, 在寒冷的冬季, 碳酸钠的溶解度随着温度降低而减小, 于是湖泊里析出了大块的碳酸钠晶体, 称为天然碱. 又如芒硝($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), 在 32.4°C 以下时, 溶解度随温度的升高增加很快, 我国北方的盐田在冬季制芒硝, 也是采用天然降温的方法.

有时, 根据需要可以采取两种结晶法. 如土法制取硝酸钾的过程, 就是把土硝(可以从老墙土、厕所土获得)加水搅拌, 沉降沙土. 再倒出上层清液, 加热浓缩(使溶剂蒸发), 然后冷却, 硝酸钾就结晶出来. 经过风干, 便得到了硝酸钾.

如果某种物质的溶液里含杂质较多, 这种物质结晶的时候, 晶体里仍旧混有一部分杂质, 要制得这种物质的纯净的晶体, 可以把析出的晶体溶解在纯净的水里, 使它再一次结晶. 这样反复几次, 杂质一次一次的减少, 就可以得到纯净的晶体. 这种提纯固体的方法, 叫做再结晶. 再结晶在工业上应用很广. 例如, 粗盐经过再结晶制成精盐.

习 题

1. 什么叫溶解度? 温度、压力对溶解度有什么影响?
2. 在 10°C 时, 52.25 克硝酸钾溶解在 250 克水中, 制成饱和溶液,

求硝酸钾在 10°C 时的溶解度。

(答: 20.9克)

3. 在 20°C 时, 20克硝酸钾的饱和溶液蒸干以后, 得到4.81克固体硝酸钾, 求硝酸钾在 20°C 时的溶解度。

(答: 31.7克)

4. 已知在 30°C 时氯酸钾的溶解度为10克, 如果取 30°C 的氯酸钾饱和溶液88克蒸干, 问可得几克氯酸钾?

(答: 8克)

5. 在 18°C 时, 食盐的溶解度是35.9克, 求10.77克食盐溶解在多少克水中才能制成饱和溶液?

(答: 30克)

6. 举例说明温度对固体物质的溶解度和对气体的溶解度各有何影响。

7. 举例说明结晶法在生产中的应用。

8. 在北方的盐田里, 天气越冷制得的芒硝就越多, 为什么在同样情况下, 不能从海水里多制得食盐?

第四节 溶液的浓度

学习要求:

掌握溶液各种浓度的表示方法, 并能进行有关浓度方面的计算。

在实际应用上, 常常要确切知道一定量的溶液里究竟含有多少溶质。例如, 施用农药的时候, 就要准确知道一定量的药液里含有农药的量。因为药液里含的农药过少就不能杀死害虫病菌; 若药液里含的农药过多, 就要使农作物受到毒害。我们把一定量的溶液或溶剂中所含有溶质的量, 叫做溶液的浓度。浓度较大的溶液, 也就是一定量溶液或溶剂中含有多量溶质的溶液, 叫做浓溶液。浓度较小的溶液, 也就是

一定量溶液或溶剂中含有少量溶质的溶液，叫做稀溶液。必须注意，不能把浓溶液和饱和溶液混为一谈。浓溶液不一定是饱和溶液。例如，在 20°C 时，100克水中含有20克硝酸钾的溶液是相当浓的，但并不是饱和的。在这个温度下，100克水中含有31.5克硝酸钾的溶液才是饱和的。又如，在 20°C 时，硫酸钙的饱和溶液是很稀的，100克水中只有0.20克硫酸钙。

表示溶液浓度的方法很多，我们着重介绍最常用的四种。

一、重量百分比浓度

溶液的浓度用溶质的重量占全部溶液重量的百分比来表示的，叫做重量百分比浓度。这种浓度的优点是简单明了，用起来方便，在实际中经常使用。按照上述定义，重量百分比浓度可以用下式表示：

$$\text{溶液的重量百分比浓度} = \frac{\text{溶质的重量}}{\text{溶液的总重量}} \times 100\%$$

因为，溶液的总重量 = 溶质的重量 + 溶剂的重量

所以，上式可写成：

$$\text{溶液的重量百分比浓度} = \frac{\text{溶质的重量}}{\text{溶质的重量} + \text{溶剂的重量}} \times 100\%$$

如果说食盐溶液的浓度为10%，这就表示100克食盐溶液里，含有10克食盐和90克水。

根据上式可以进行有关计算：

1. 用已知溶剂和溶质的重量，计算溶液的重量百分比浓度。

【例1】把5克食盐溶解在95克水里，求此食盐溶液的

重量百分比浓度。

【解】已知溶质的重量 = 5 克

溶剂的重量 = 95 克

$$\begin{aligned}\text{溶液的重量百分比浓度} &= \frac{\text{溶质的重量}}{\text{溶质的重量} + \text{溶剂的重量}} \times 100\% \\ &= \frac{5}{5 + 95} \times 100\% \\ &= 5\%\end{aligned}$$

答：食盐溶液的重量百分比浓度是 5%。

【例 2】食盐在 0°C 的溶解度为 35.7 克，求 0°C 的食盐饱和溶液的重量百分比浓度。

【解】已知食盐在 0°C 的溶解度为 35.7 克，也就是说，0°C 时 35.7 克食盐溶解在 100 克水中制成饱和溶液。所以在这种饱和溶液中，溶质的重量为 35.7 克，溶剂的重量为 100 克。

$$\begin{aligned}\text{溶液的重量百分比浓度} &= \frac{\text{溶质的重量}}{\text{溶质的重量} + \text{溶剂的重量}} \times 100\% \\ &= \frac{35.7}{35.7 + 100} \times 100\% \\ &= 26.3\%\end{aligned}$$

答：0°C 的饱和食盐溶液的重量百分比浓度是 26.3%。

2. 已知溶液的重量百分比浓度，求溶液中所含溶质和溶剂的重量。

【例 1】在农业生产上，有时用 10~20% 的食盐溶液来选稻种或麦种。现要配制 150 公斤 16% 的食盐溶液，应如何配法？

【解】已知溶液的重量为 150 公斤，溶液的重量百分比浓度是 16%。

按上式：溶液的重量百分比浓度

$$= \frac{\text{溶质的重量}}{\text{溶液的重量}} \times 100\%$$

设：所需食盐的重量为 x 公斤，则：

$$16\% = \frac{x}{150} \times 100\%$$

$$\therefore x = 24 \text{ 公斤}$$

因为溶液的重量 = 溶质的重量 + 溶剂的重量

$$\therefore 150 = 24 + \text{溶剂的重量，则：}$$

$$\text{溶剂的重量} = 150 - 24 = 126 \text{ 公斤}$$

答：称出食盐 24 公斤，溶解在 126 公斤水中，就制得 150 公斤 16% 的食盐溶液。

【例 2】清洗钢锭需要用 10% 的硫酸溶液。现有 50 公斤 93% 的硫酸溶液，需加多少水才能使用？

【解】按溶液的重量百分比浓度

$$= \frac{\text{溶质的重量}}{\text{溶液的重量}} \times 100\%$$

首先计算 50 公斤 93% 的硫酸溶液中含有溶质 H_2SO_4 的重量。设含 H_2SO_4 为 x 公斤，则：

$$93\% = \frac{x}{50} \times 100\%$$

$$\therefore x = 50 \times 93\% = 46.5 \text{ 公斤}$$

第二步：由以上计算得知，共含有 H_2SO_4 46.5 公斤，设

加水后能配成 y 公斤 10% 的硫酸溶液，则：

$$10\% = \frac{46.5}{y}$$

$$\begin{aligned}\therefore y &= 46.5 \div \frac{10}{100} \\ &= 465 \text{ 公斤}\end{aligned}$$

即能配成 10% 硫酸溶液 465 公斤。

第三步，计算配制时需要加的水量。

从 465 公斤中减去配制此溶液时所用的 50 公斤 93% 的硫酸溶液，即为所应加入的水的重量。

$$\therefore \text{需加水之重} = 465 - 50 = 415 \text{ 公斤}$$

答：需要加水 415 公斤才能使用。

在不知道某种溶液的浓度时，可以用比重计来测量溶液的比重^①（见图 6—5）。使用比重计时，要注意把比重计轻轻地放入液体中。被测液体的深度，必须足以使比重计漂浮起来，以免比重计下沉碰击容器底。读数时，眼睛平视液面，读出比重计与液面交接处的刻度，就是该溶液的比重。

由于溶液的比重随着它的重量百分比浓度的改变而改变，因此用比重计测出溶液的比重后，查表就可以知道溶液的重量百分比浓度。这在实际应用上很方便。例如，在 20°C 的时候用比重计测得一瓶硝酸的比重是 1.40，从对照表（见表 6—3）里就可以查出这种溶液的重量百分比浓度是 67%。

在工农业生产中，还常用波美比重计测定溶液的比重，测得的数值叫“波美度”，用符号 °Be' 来表示。例如，波美 20 度

① 参看第六章第六节。

表 6—3 硝酸在 20°C 时的比重和百分比浓度对照表

比重 $\frac{20}{4}^{\circ}\text{C}$	1.06	1.09	1.14	1.16	1.18	1.20	1.24	1.31	1.40	1.43
百分比浓度	11	16	24	27	30	33	39	50	67	74

可写作 20°Be。用波美比重计测出溶液的波美度后，同样根据相应的对照表可以查出它的浓度。

二、体积比浓度

溶液的浓度，用所取浓酸（如比重 1.19 的盐酸，比重 1.84 的硫酸，比重 1.42 的硝酸）或氨水（比重 0.88）的体积与所兑水的体积之比来表示的，叫做体积比浓度。例如，硝酸溶液的体积比浓度是 1:3，就是说把 1 体积浓硝酸兑 3 体积水，混合均匀即得体积比浓度为 1:3 的硝酸溶液（体积常用升或毫升，1 升等于 1000 毫升）。

三、体积克分子浓度（或克分子浓度）

溶液的浓度用 1 升溶液中所含溶质的克分子数来表示的，叫做体积克分子浓度。用符号 M 表示。例如，1 升氯化钠溶液中含有 1 克分子氯化钠，则此溶液叫做 1 M 氯化钠溶液。或者说此氯化钠溶液的浓度为 1 M。又如 0.1 M 氯化钠溶液，即 1 升这种溶液中含有 0.1 克分子氯化钠。

下面介绍有关克分子浓度方面的计算，为顺利进行计

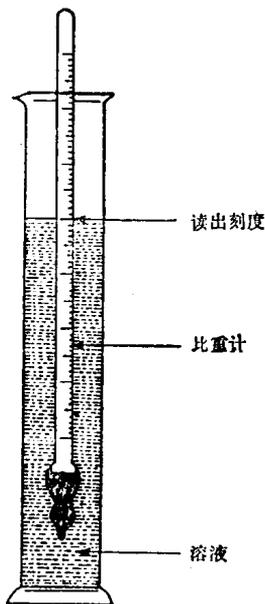


图 6—5 用比重计测定溶液的比重

算，可参看第二章第三节，复习一下克分子，克分子量，克分子数等概念。

1. 已知一定体积溶液中所含溶质的克分子数，计算溶液的克分子浓度

进行这种计算时，应根据已知的一定体积溶液中所含溶质的克分子数，算出1升溶液中所含溶质的克分子数，这样就求得溶液的克分子浓度。

【例1】已知500毫升氯化钠(NaCl)溶液中含0.1克分子氯化钠，求此溶液的克分子浓度。

【解】已知500毫升氯化钠溶液中含氯化钠0.1克分子，设1000毫升氯化钠溶液中含氯化钠 x 克分子，则：

$$500:1000 = 0.1:x$$

$$\therefore x = \frac{1000 \times 0.1}{500} = 0.2$$

答：氯化钠溶液的浓度为0.2M。

【例2】已知3升氢氧化钠(NaOH)溶液中含0.6克分子氢氧化钠，求此溶液的克分子浓度。

【解】已知3升氢氧化钠溶液中含氢氧化钠0.6克分子，设1升氢氧化钠溶液中含氢氧化钠 x 克分子，则：

$$3:1 = 0.6:x$$

$$\therefore x = \frac{1 \times 0.6}{3} = 0.2$$

答：氢氧化钠溶液的浓度为0.2M。

2. 已知一定体积溶液中所含溶质的重量，计算溶液的克分子浓度

进行这种计算时，可分两步，首先将已知一定体积溶液

中所含溶质的克数，换算成所含溶质的克分子数，然后按例题 1 进行计算。

【例 3】已知 500 毫升氢氧化钠溶液中含氢氧化钠 10 克，求此氢氧化钠溶液的克分子浓度。(已知原子量: Na = 22.99, H = 1.008, O = 16.00)

【解】已知氢氧化钠的分子量 = 22.99 + 1.008 + 16.00 = 40.00, 则氢氧化钠的克分子量 = 40.00 克。

(1) 将 10 克氢氧化钠换算成氢氧化钠的克分子数, 即:

$$\begin{aligned} \text{氢氧化钠的克分子数} &= \frac{\text{氢氧化钠的重量(克)}}{\text{氢氧化钠的克分子量}} \\ &= \frac{10 \text{克}}{40.00 \text{克}} = 0.25 \text{克分子} \end{aligned}$$

(2) 按题意即 500 毫升溶液中含氢氧化钠 0.25 克分子, 设 1 升溶液中含氢氧化钠的克分子数为 x , 则:

$$500:1000 = 0.25:x$$

$$\therefore x = \frac{1000 \times 0.25}{500} = 0.5$$

答: 氢氧化钠溶液的浓度为 0.5M。

3. 已知溶液的克分子浓度, 计算一定体积溶液中所含溶质的重量

进行这种计算时, 可考虑: 既然已知溶液的克分子浓度, 那也就是知道了 1 升溶液中所含溶质的克分子数, 将此克分子数乘以该溶质的克分子量, 得出 1 升溶液中所含该溶质的克数, 从而算出任意体积溶液中所含溶质的克数。

【例 4】要配制 0.1M 氯化钠溶液 200 毫升, 应称取氯化

钠多少克? (已知原子量: $\text{Na} = 22.99$, $\text{Cl} = 35.45$)

【解】已知氯化钠的分子量 $= 22.99 + 35.45 = 58.44$, 则氯化钠的克分子量 $= 58.44$ 克。

0.1M 氯化钠溶液, 即指 1 升溶液中含氯化钠 0.1 克分子。

按物质的克分子数 $= \frac{\text{物质的重量(克)}}{\text{物质的克分子量}}$

则: 物质的重量(克) $=$ 物质的克分子量 \times 物质的克分子数

所以 0.1 克分子氯化钠相当于氯化钠的重量为:

$$58.44 \text{ 克} \times 0.1 = 5.844 \text{ 克}$$

由上得知, 配制 0.1M 氯化钠溶液 1 升 (1000 毫升) 需用氯化钠 5.844 克。

计算配制 0.1M 氯化钠溶液 200 毫升, 设需用氯化钠为 x 克, 则:

$$1000:200 = 5.844:x$$

$$\therefore x = \frac{200 \times 5.844}{1000} = 1.17 \text{ 克}$$

答: 需要称取氯化钠 1.17 克。

应该指出: 以上例题中指出的计算时考虑的步骤, 仅供初学者参考, 并不是计算这些题目的唯一途径。凡是计算结果正确的其他方法, 都是可以应用的。

习 题

1. 有人说, 100 克水中溶入 20 克溶质, 这溶液的重量百分比浓度

为20%，这种说法是否正确？为什么？

2.25克氢氧化钠溶在100克水中，求此溶液的重量百分比浓度。

(答：20%)

3.什么叫比重？已知硝酸的比重为1.40，问1毫升这种硝酸应重多少克？

(答：1.40克)

4.要配制体积比浓度为1:2的硫酸溶液60毫升，应取浓硫酸和水各若干毫升？并说明如何配制。

(答：20毫升浓硫酸；40毫升水)

5.在制取“九二〇”农药时，要用高锰酸钾(KMnO_4)溶液消灭杂菌。把0.48克高锰酸钾加入175克水中，求此溶液的重量百分比浓度。

(答：0.101%)

6.要配300斤15%的食盐水来选稻种，问需水和食盐各多少？

(答：盐45斤；水255斤)

7.要制备8%的硫酸铜溶液1000克，需用胆矾($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)和水各多少克？

(答：胆矾125克；水875克)

8.现有浓度为16%的氨水100公斤，需加多少水才能稀释为浓度是10%的氨水以供菜田使用？

(答：水60公斤)

9.轧钢前，清洗钢锭表面要用10%的硫酸溶液。问配制此溶液980公斤，需要98%的浓硫酸和水各多少公斤？

(答：酸100公斤，水880公斤)

10.已知200毫升食盐溶液中含有0.1克分子氯化钠，求此溶液的克分子浓度。

(答：0.5M)

11.已知5升氢氧化钠溶液中含有1克分子氢氧化钠，求此溶液的克分子浓度。

(答：0.2M)

12.已知300毫升硝酸钠溶液中含硝酸钠5.1克，求此溶液的克分子浓度。

(答：0.2M)

13.要配0.1M碳酸钠溶液500毫升，需要无水碳酸钠(Na_2CO_3)多少克？

(答：5.3克)

第五节 当量 当量定律及有关计算

学习要求：

1. 掌握克当量、克当量数及当量浓度的意义。

2. 掌握公式 $N_1 V_1 = N_2 V_2$; $NV = \frac{g(\text{克})}{n}$;

$N_{\text{酸}1} V_{\text{酸}1} + N_{\text{酸}2} V_{\text{酸}2} = N_{\text{酸总}} V_{\text{酸总}}$ 的意义和应用。

在讨论当量浓度以前，首先介绍元素和化合物的当量概念。

一、元素的当量

对一切元素来说，都可以找到一个表示它们相互化合时，彼此相当的数值，这种数值叫做当量。

例如，已知氢的原子量为 1（或 1.008），氧的原子量为 16.00，水的分子式为 H_2O 。

在 H_2O 中：氢重：氧重 = 2.016 : 16.00 = 1.008 : 8.00 \approx 1 : 8

这说明八份氧与一份氢相当。通常就以氢的当量为 1 或氧的当量为 8 作为标准来计算其它元素的当量。所以元素的当量是：某元素与一份重的氢或二份重的氧相化合时，或从化合物中置换出此量的氢或氧时所需要的量，叫做该元素的当量。

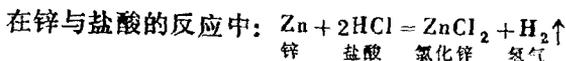
例如，已知原子量：H = 1.008, O = 16.00, Cl = 35.45,

Zn = 65.33, C = 12.01.

在二氧化碳 (CO_2) 中：碳重：氧重 = 12.01 : 32.00 \approx 3 : 8
与 8 份氧相化合的碳的量是 3；

在氯化氢(HCl)中：氢重：氯重 = 1.008:35.45

与1.008份氢相化合的氯的量是35.45；



65.38份锌能置换二份氢， $\frac{65.38}{2}$ 即32.69份锌能置换一份氢。

所以，3、35.45和32.69分别为碳、氯和锌的当量。

二、当量数

当量的个数叫做当量数。例如，氧的当量是8，十六份重的氧是氧的2个当量，就说氧的当量数为2。

三、元素当量的求法

元素的当量，可以根据元素的原子量、化合价和当量之间的关系求得。

例如，非金属元素的一个原子与一个氢原子相化合时，非金属元素显-1价，如 $\text{H}^{+1}\text{Cl}^{-1}$ 中氯为-1价；典型金属元素的一个原子与一个氢原子相化合时，典型金属显+1价，如氯化钠($\text{Na}^{+1}\text{H}^{-1}$)中钠为+1价。前面已讲过，一个锌原子能置换两分子盐酸中的两个氢原子，形成氯化锌($\text{Zn}^{+2}\text{Cl}_2^{-1}$)，其中锌为+2价。由此可知，如果不考虑化合价的正、负（或按正、负化合价的绝对值），可以说，某元素的一个原子与几个氢原子相化合（或置换），则某元素就显几价，也就是说，某元素的化合价数，等于某元素一个原子，与氢原子相化合（或置换）时的氢原子个数。又如，硫化氢(H_2S)和氯化钙(CaH_2)，其中硫的一个原子和钙的一个原子，都和两个氢原子化合，所以硫和钙的化合价数都是2（不考虑化合价的正、负）。

按当量定义可以得出：某元素的原子量被某元素一个原子与氢原子相化合（或置换）时的氢原子个数除，就得到某元素与一个氢原子（1.008）相化合（或置换）的量，也就是某元素的当量。这个关系可用下式表示：

$$\begin{aligned} \text{元素的当量} &= \frac{\text{元素的原子量}}{\text{元素的一个原子与氢原子相化合(或置换)时的氢原子个数}} \\ &= \frac{\text{元素的原子量}}{\text{元素的化合价}} \end{aligned}$$

应该注意的是：上式中元素的化合价，是指该元素与不同元素化合成分子时它所表现出的化合价（不考虑正、负）。

例如，钠的原子量为22.99，锌的原子量为65.38，它们在化合物中表现的化合价分别为+1和+2，则：

$$\text{钠的当量} = \frac{22.99}{1} = 22.99$$

$$\text{锌的当量} = \frac{65.38}{2} = 32.69$$

有的元素彼此化合，生成几种化合物，所以某元素的当量，如果根据不同的化合物来计算，就有不同的数值。

例如，已知碳与氧能生成一氧化碳（CO）和二氧化碳（CO₂）两种化合物，在这两种化合物中，碳的化合价分别为+2和+4。碳的原子量为12，则碳在一氧化碳和二氧化碳中的当量分别为 $\frac{12}{2} = 6$ 和 $\frac{12}{4} = 3$ 。

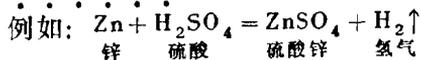
四、化合物的当量

当量、当量数的概念也可以应用到化合物上。

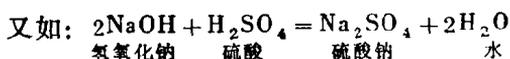
1. 当量在化合物上的应用

某化合物与一当量的任何物质相作用时所需要的量，叫

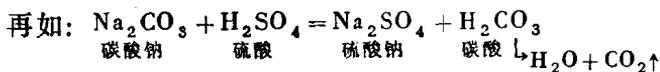
做该化合物的当量。当量的个数，叫做当量数。



由上式可知，2 当量锌（已知锌的当量 = $\frac{\text{锌原子量}}{2}$ ）与 1 分子 H_2SO_4 完全作用，与 1 当量锌相作用的 H_2SO_4 的量为 $\frac{\text{H}_2\text{SO}_4\text{分子量}}{2}$ ，此即 H_2SO_4 的当量。



由上式可知，2 当量 H_2SO_4 与 2 分子氢氧化钠完全作用，与 1 当量 H_2SO_4 相作用的氢氧化钠的量为 $\frac{\text{NaOH分子量}}{1}$ ，此即氢氧化钠的当量。



由上式可知，2 当量 H_2SO_4 与 1 分子碳酸钠完全作用，与 1 当量 H_2SO_4 相作用的碳酸钠的量为 $\frac{\text{Na}_2\text{CO}_3\text{分子量}}{2}$ ，此即碳酸钠的当量。

2. 酸、碱、盐当量的求法

把上述化合物当量的求法，具体应用到酸、碱、盐上，则可写成下列三个式子：

$$\text{酸的当量} = \frac{\text{酸的分子量}}{\text{酸分子中可被金属置换的氢原子数}}$$

$$\text{碱的当量} = \frac{\text{碱的分子量}}{\text{碱分子中氢氧根数}}$$

$$\text{盐的当量} = \frac{\text{盐的分子量}}{\text{盐分子中金属原子数} \times \text{金属的化合价}}$$

例如： HNO_3 (分子量为63.02)的当量 = $\frac{63.02}{1} = 63.02$

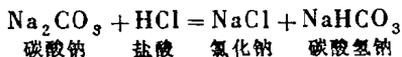
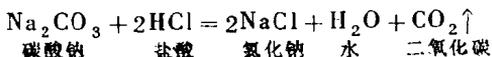
H_2SO_4 (分子量为98.08)的当量 = $\frac{98.08}{2} = 49.04$

CH_3COOH (分子量为60.05)的当量 = $\frac{60.05}{1}$ ^①
= 60.05

氢氧化钙 $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ 分子量为74.1] 的当量 = $\frac{74.1}{2}$
= 37.05

硫酸铝 $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3]$ 分子量为342.1] 的当量 = $\frac{342.1}{2 \times 3}$
= 57.02

化合物的当量还要根据具体反应计算。例如，在下列两个反应方程式中：



在第一个反应方程式中，2个当量HCl与1分子碳酸钠相互作用，所以碳酸钠的当量 = $\frac{\text{碳酸钠分子量}}{2}$ 。

在第二个反应方程式中，1个当量HCl与1分子碳酸钠相互作用，所以碳酸钠的当量 = Na_2CO_3 分子量。

由此可见，同一种化合物的当量并不是固定不变的。

五、克当量、克当量数

若化合物(或元素)的当量以克为单位来表示，就叫做

① 醋酸 (CH_3COOH) 中只有最后一个H是可被金属置换的。

该化合物(或元素)的克当量。例如,氢、氧和 H_2SO_4 的当量分别为1、8和49.04,而1克、8克和49.04克则分别为氢、氧和 H_2SO_4 的克当量。

计算克当量和计算当量的方法相同,只是把原子量改用1克原子的重量(克原子量);分子量改用1克分子的重量(克分子量)。

例如,已知锌的原子量为65.38,化合价为+2,1克原子锌的重量等于65.38克。

$$\text{则锌的克当量} = \frac{65.38}{2} = 32.69 \text{克。}$$

又如,已知 H_2SO_4 的分子量为98.08,则 H_2SO_4 的克当量 = $\frac{98.08}{2} = 49.04$ 克。

克当量的个数叫做克当量数。例如,已知8克氧为氧的1个克当量,则32克氧为氧的4个克当量,就说氧的克当量数为4。4克氧为氧的 $\frac{1}{2}$ 个克当量,就说氧的克当量数为0.5。物质的克当量数可按下式求得:

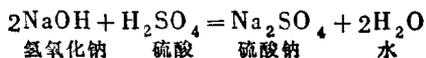
$$\text{物质的克当量数} = \frac{\text{物质的重量(克)}}{\text{物质的克当量}}$$

例如,49.04克为 H_2SO_4 的1个克当量,98.08克 H_2SO_4 为 H_2SO_4 的几个克当量呢?按上式:

$$H_2SO_4 \text{的克当量数} = \frac{98.08 \text{克}}{49.04 \text{克}} = 2$$

六、当量定律

氢氧化钠与稀硫酸发生中和反应,其反应方程式为:



NaOH 的 1 个当量 = $\frac{\text{NaOH 的分子量}}{1}$ ，所以 1 分子 NaOH 就是 1 当量 NaOH。

H_2SO_4 的 1 个当量 = $\frac{\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ 的分子量}}{2}$ ，所以 1 分子 H_2SO_4 是 2 当量 H_2SO_4 。

从上式中看出，二分子 NaOH 与一分子 H_2SO_4 相互反应，也可以说 2 个当量氢氧化钠与 2 个当量 H_2SO_4 相互反应，由此可见，氢氧化钠和 H_2SO_4 相互反应时，它们的当量数相等。

在化学反应中，物质之间总是以相等的当量数相互反应的规律，叫做当量定律。由当量定律和克当量的定义可以得出，物质之间总是以相等的克当量数相互反应。

七、当量浓度

1. 意义 溶液的浓度用 1 升溶液中所含溶质的克当量数来表示的，叫做当量浓度。用字母 N 表示。例如，已知 1 克当量 H_2SO_4 重 49.04 克，如果 1 升溶液中含有 49.04 克 H_2SO_4 ，也就是含有 1 克当量 H_2SO_4 （即 H_2SO_4 的克当量数为 1），就说这是 1 N 的硫酸溶液，或者说这个硫酸溶液的浓度为 1 N。同样，若 1 升溶液中含有 H_2SO_4 的克当量数为 0.5（即 $\frac{49.04}{2}$ 克），就说这个硫酸溶液的浓度为 0.5 N。

2. $N_1 V_1 = N_2 V_2$ 公式的意义

从当量定律和克当量的定义，我们知道，物质之间总是以相等的克当量数相互反应，结合当量浓度的定义，可以得出下面很有用的公式。

设有甲、乙两种溶质，分别溶解在水中制成甲、乙两种溶液。若它们的当量浓度分别为 N_1 、 N_2 ，如果使两种溶液

中溶质完全作用时，用去甲溶液 V_1 升，乙溶液 V_2 升。根据当量浓度的定义， N_1 就是 1 升甲溶液中含有溶质甲的克当量数， N_2 就是 1 升乙溶液中含有溶质乙的克当量数； $N_1 V_1$ 就是 V_1 升甲溶液中含有溶质甲的克当量数， $N_2 V_2$ 就是 V_2 升乙溶液中含有溶质乙的克当量数。根据物质之间总是以相等的克当量数相互作用的原理，则溶质甲的克当量数与溶质乙的克当量数必然相等，即得到：

$$N_1 V_1 = N_2 V_2$$

式中 V_1 、 V_2 以升为单位。显然，若 V_1 、 V_2 都以毫升为单位，上式仍然成立。

这个公式的意义是：当两种当量浓度不同的溶液完全作用（即两种当量浓度不同的溶液中的溶质完全作用）时，所取溶液的体积和它的当量浓度成反比（若 V_1 大于 V_2 则 N_1 必小于 N_2 ）。

3. 公式 $NV = \frac{g(\text{克})}{n}$ 或 $NV = \frac{g(\text{克})}{n} \times 1000$ 的意义

当溶液与固体物质作用时：

因为：物质的克当量数 = $\frac{\text{物质的重量(克)}}{\text{物质的克当量}}$

若有某一固体物质的重量为 g （克），克当量为 n ，则此固体物质的克当量数 = $\frac{g(\text{克})}{n}$ 。若有浓度为 N 的 V 升溶液，与上述克当量为 n 的 g （克）固体物质完全作用，按当量定律：溶液中溶质的克当量数，应该与该固体物质的克当量数相等，即：

$$NV = \frac{g(\text{克})}{n}$$

应该注意的是：应用上述公式时，V 的单位一定要用升，因为只有这样，NV才代表溶液中溶质的克当量数。如果 V 改用毫升，则上式应改写成： $NV = \frac{g(\text{克})}{n} \times 1000$ 。

4. 有关当量浓度方面的计算

(1) 已知一定体积溶液中所含溶质的克当量数，计算溶液的当量浓度。

因为溶液的当量浓度，是指 1 升溶液中所含溶质的克当量数，所以进行这种计算时，就是根据已知一定体积溶液中所含溶质的克当量数，算出 1 升溶液中所含溶质的克当量数。这样就求出了溶液的当量浓度。

【例 1】 已知 2 升氢氧化钠溶液中含 0.5 克当量氢氧化钠，求此氢氧化钠溶液的当量浓度。

【解】 已知 2 升氢氧化钠溶液中含氢氧化钠 0.5 克当量，设 1 升氢氧化钠溶液中含氢氧化钠的克当量数为 x ，则：

$$2 : 1 = 0.5 : x$$

$$\therefore x = 0.25$$

答：氢氧化钠溶液的浓度为 0.25N。

【例 2】 已知 200 毫升氯化钠溶液中含氯化钠 0.1 克当量，求此氯化钠溶液的当量浓度。

【解】 已知 200 毫升氯化钠溶液中含氯化钠 0.1 克当量，设 1000 毫升氯化钠溶液中含氯化钠的克当量数为 x ，则：

$$200 : 1000 = 0.1 : x$$

$$\therefore x = 0.5$$

答：氯化钠溶液的浓度为0.5N。

(2) 已知一定体积溶液中所含溶质的重量，计算溶液的当量浓度。

可按公式 $NV = \frac{g(\text{克})}{n}$ 直接计算。下面着重说明不用公式的计算方法。

进行这种计算时可分为两步，首先将已知一定体积溶液中所含溶质的克数，换算成所含溶质的克当量数，然后按〔例1〕进行计算。

【例3】已知100毫升碳酸钠溶液中含有无水碳酸钠 (Na_2CO_3) 0.53克，求此溶液的当量浓度 (原子量：Na = 22.99, C = 12.01, O = 16.00)。

【解】 Na_2CO_3 的分子量 = 106.0

1克分子 Na_2CO_3 的重量或 Na_2CO_3 的克分子量 = 106克， Na_2CO_3 的克当量 = $\frac{106}{2} = 53$ 克

(1) 将0.53克无水碳酸钠换算成 Na_2CO_3 的克当量数

$$\text{即：} \frac{0.53 \text{ 克}}{53 \text{ 克}} = 0.01$$

(2) 按题意即：100毫升溶液中含 Na_2CO_3 0.01克当量，设1000毫升溶液中含 Na_2CO_3 的克当量数为 x ，则：

$$100:1000 = 0.01:x$$

$$\therefore x = 0.1$$

若用公式直接计算即： $N_1 \times \frac{100}{1000} = \frac{0.53}{53}$

$$\therefore N_1 = 0.1$$

答：碳酸钠溶液的浓度为0.1N.

(3) 已知溶液的当量浓度，计算一定体积溶液中所含溶质的重量。

进行这种计算时，可考虑，既已知溶液的当量浓度，也就是知道了1升溶液中所含溶质的克当量数，将此克当量数乘以该溶质的克当量，就得出1升溶液中所含该溶质的克数，从而可算出任意体积溶液中所含溶质的克数。也可按公式

$$NV = \frac{g(\text{克})}{n} \text{ 直接计算, 可参看[例11].}$$

【例4】计算100毫升0.5N硫酸溶液里含有 H_2SO_4 多少克？（已知原子量：H=1.008, S=32.06, O=16.00）

【解】 H_2SO_4 的分子量=98.08

1克分子 H_2SO_4 的重量或 H_2SO_4 的克分子量=98.08克。

H_2SO_4 的克当量 = $\frac{98.08}{2} = 49.04$ 克。

0.5N硫酸溶液即1升这种溶液中含 H_2SO_4 0.5克当量，也就是含 H_2SO_4 49.04克 \times 0.5=24.52克。

由上得知，1升（1000毫升）0.5N硫酸溶液中含 H_2SO_4 24.52克，设100毫升0.5N硫酸溶液中含 H_2SO_4 为 x 克，则：

$$1000:100 = 24.52:x$$

$$\therefore x = 2.452 \text{ 克}$$

答：100毫升0.5N硫酸溶液中含有 H_2SO_4 2.452克。

【例5】欲配制1升0.1N碳酸钠溶液，需称取无水碳酸钠（ Na_2CO_3 ）多少克？若用结晶碳酸钠（ $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ）配制，需称取结晶碳酸钠多少克？（已知原子量：Na=22.99, C=12.01, O=16.00, H=1.008）

【解】 Na_2CO_3 的分子量 = 106.0

$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 的分子量 = 286.0

$$\text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ 的克当量} = \frac{106.0 \text{ 克}}{2} = 53.0 \text{ 克}$$

1升0.1N碳酸钠溶液中，应含有0.1克当量 Na_2CO_3 ，0.1克当量 Na_2CO_3 相当于 Na_2CO_3 的重量为：

$$53 \text{ 克} \times 0.1 = 5.3 \text{ 克}$$

由上得知，配制1升0.1N碳酸钠溶液，需用无水碳酸钠5.3克。

已知106.0克 Na_2CO_3 含在286.0克结晶碳酸钠中，设5.3克 Na_2CO_3 应含在 x 克结晶碳酸钠中，则：

$$106.0 : 5.3 = 286.0 : x$$

$$\therefore x = 14.3 \text{ 克}$$

答：欲配制1升0.1N碳酸钠溶液，需称取无水碳酸钠5.3克。若用结晶碳酸钠，需称取14.3克。

以上例题中的计算方法，仅供初学者参考，但不是计算这些题目的唯一途径，凡是计算结果正确的方法，都是可以应用的。

(4) $N_1 V_1 = N_2 V_2$ 公式的应用

【例6】中和40.00毫升未知浓度的硫酸溶液，用去了0.2000N碱溶液22.00毫升，求硫酸溶液的当量浓度。并求所取的40.00毫升硫酸溶液中含 H_2SO_4 的克数。

【解】设硫酸溶液的当量浓度为 x ，则 $N_1 = 0.2000$ ， $V_1 = 22.00$ 毫升， $V_2 = 40.00$ 毫升， $N_2 = x$ ，代入公式：

$$N_1 V_1 = N_2 V_2$$

$$\text{得} \quad 0.2000 \times 22.00 = 40.00x$$

$$\therefore x = 0.1100N$$

计算所取40.00毫升硫酸溶液中含 H_2SO_4 的克数，可按公式 $NV = \frac{g(\text{克})}{n}$ 直接计算，下面着重说明不用公式时的计算方法。

已知 H_2SO_4 的克当量为49.04克，硫酸溶液的当量浓度为0.1100N，也就是说1升硫酸溶液中含 H_2SO_4 0.1100克当量，即含 H_2SO_4 49.04克 \times 0.1100 = 5.394克

由上得知，1000毫升硫酸溶液中含 H_2SO_4 5.394克，设40毫升硫酸溶液中含 H_2SO_4 为 x 克，则：

$$1000:40 = 5.394:x$$

$$\therefore x = \frac{40 \times 5.394}{1000} = 0.2158 (\text{克})$$

答：硫酸溶液的浓度为0.1100N，40.00毫升硫酸溶液中含 H_2SO_4 0.2158克。

【例7】为了中和42.00毫升0.1000N某酸溶液，需用0.3000N碱溶液多少毫升？

【解】设需用碱溶液 x 毫升，则 $N_1 = 0.1000$ ， $V_1 = 42.00$ 毫升， $N_2 = 0.3000$ ， $V_2 = x$ 毫升，代入公式： $N_1V_1 = N_2V_2$

$$\text{得} \quad 0.1000 \times 42.00 = 0.3000x$$

$$\therefore x = 14.00 \text{ 毫升}$$

答：需用0.3000N碱溶液14.00毫升。

【例8】制备500毫升0.5N硫酸溶液，问需取用2N硫酸溶液多少毫升？

【解】因为向浓溶液中加水冲稀制成稀溶液时，其中溶质的数量没有改变，所以溶液冲稀前后虽然浓度有了改变，但溶液中溶质的克当量数仍相等。因此 $N_1V_1 = N_2V_2$ 公式也

可用于溶液的冲稀。

设需取用2N硫酸溶液 x 毫升，则 $N_1 = 0.5$ ， $V_1 = 500$ 毫升， $N_2 = 2N$ ， $V_2 = x$ 毫升，代入公式：

$$N_1 V_1 = N_2 V_2$$

得 $0.5 \times 500 = 2x$

$\therefore x = 125$ 毫升

答：制备500毫升0.5N硫酸溶液，需取用2N硫酸溶液125毫升。

(5) $NV = \frac{g(\text{克})}{n}$ 公式的应用(注意：V的单位为升)

已知V、g求N的计算，可参看[例3]。

【例9】用0.1N盐酸溶液40毫升，问可与多少克无水碳酸钠(Na_2CO_3)完全作用？

【解】此题为已知N、V求g。已知原子量：Na = 22.99，C = 12.01，O = 16.00

$$\text{Na}_2\text{CO}_3 \text{的分子量} = 106.0$$

$$\text{Na}_2\text{CO}_3 \text{的克当量} = \frac{106.0 \text{克}}{2} = 53.0 \text{克}$$

按题意： $N = 0.1$ ， $V = 40$ 毫升 = $\frac{40}{1000}$ 升，

$g = ?$ $n = 53$ 克；代入公式：

$$NV = \frac{g(\text{克})}{n}$$

得 $0.1 \times \frac{40}{1000} = \frac{g}{53}$

$\therefore g = 53 \times 0.1 \times 0.04 = 0.212$ 克

答：可与0.212克无水碳酸钠完全作用。

【例10】0.265克无水碳酸钠能与多少毫升0.1N的酸溶液完全作用?

【解】此题为已知N、g求V。已知原子量：Na=22.99，C=12.01，O=16.00

Na_2CO_3 的分子量=106.0， Na_2CO_3 的克当量=53.0克

按题意：N=0.1，V=? g=0.265克，n=53克，则：

$$0.1 V = \frac{0.265}{53}$$

$$\therefore V = \frac{0.265}{5.3} = 0.05 \text{升}$$

1升=1000毫升 0.05升=1000毫升 \times 0.05=50毫升

答：0.265克无水碳酸钠能与0.1N的酸溶液50毫升完全作用。

【例11】欲配制0.5N食盐(NaCl)溶液200毫升，问需用食盐多少克?

【解】因为配制溶液时，就是把溶质溶解于水中，所以配制溶液时所用溶质的克当量数，与配好溶液后溶液中所含溶质的克当量数相等。这样，公式 $NV = \frac{g(\text{克})}{n}$ 仍可应用，

其中N为欲配溶液的当量浓度，V为欲配溶液的体积(升)，g为配制V升浓度为N的溶液所用溶质的克数，n为溶质的克当量。按上述公式，本题即为已知N、V求g。

已知原子量：Na=22.99，Cl=35.45

氯化钠的分子量=58.44，氯化钠的克当量=58.44克

按题意：N=0.5，V=200毫升= $\frac{200}{1000}$ 升=0.2升，

$$g = ? , \quad n = 58.44 \text{克},$$

$$\text{则: } 0.5 \times 0.2 = \frac{g}{58.44}$$

$$\therefore g = 58.44 \times 0.5 \times 0.2 = 5.844 \text{克}$$

答: 欲配制0.5N 食盐溶液200毫升, 需用食盐 5.844克。

(6) 各种混合酸或混合碱的总酸度或总碱度, 可按下式计算:

$$N_{\text{酸}1} V_{\text{酸}1} + N_{\text{酸}2} V_{\text{酸}2} = N_{\text{酸总}} V_{\text{酸总}}$$

【例12】现有0.1000N 硫酸溶液1升, 问需加入0.3200N 盐酸溶液多少毫升, 才能使混合酸的酸度为0.1200N。

【解】设需加入盐酸溶液 x 毫升, 则 $N_{\text{酸}1} = 0.1000$, $V_{\text{酸}1} = 1000$ 毫升, $N_{\text{酸}2} = 0.3200$, $V_{\text{酸}2} = x$ 毫升, $N_{\text{酸总}} = 0.1200$, $V_{\text{酸总}} = (1000 + x)$ 毫升, 代入公式:

$$N_{\text{酸}1} V_{\text{酸}1} + N_{\text{酸}2} V_{\text{酸}2} = N_{\text{酸总}} V_{\text{酸总}}$$

$$\text{得 } 0.1000 \times 1000 + 0.3200 \times x = 0.1200(1000 + x)$$

$$\therefore x = 100.0 \text{毫升}$$

答: 需加入0.3200N 盐酸溶液100.0毫升。

习 题

1. 什么是当量、当量数和当量定律?
2. 计算铜在氧化铜 (CuO) 和氧化亚铜 (Cu_2O) 中的当量。
3. 计算下列反应中 H_2SO_4 的当量:
 (1) $\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{NaOH} = \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
 (2) $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NaOH} = \text{NaHSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
4. 说明公式 $N_1 V_1 = N_2 V_2$ 和 $NV = \frac{g(\text{克})}{n}$ 的意义和应用。

5. 已知200毫升食盐溶液中含NaCl 0.2克当量, 求此溶液的当量浓度. (答: 1 N)
6. 已知5升氢氧化钠溶液中含NaOH 0.5克当量, 求此溶液的当量浓度. (答: 0.1 N)
7. 已知500毫升氢氧化钠溶液中含NaOH 20克, 求此溶液的当量浓度. (答: 1 N)
8. 已知500毫升碳酸钠溶液中含无水碳酸钠(Na_2CO_3) 10.6克, 求此溶液的当量浓度. (答: 0.4 N)
9. 计算200毫升0.1 N盐酸溶液中含HCl多少克? (答: 0.73克)
10. 计算200毫升0.1 N硫酸溶液中含 H_2SO_4 多少克? (答: 0.98克)
11. 如何将100毫升0.5 N溶液配成0.25 N溶液? (答: 加水冲稀至200毫升)
12. 计算中和0.2 N酸溶液30毫升需用0.25 N的碱溶液多少毫升? (答: 24毫升)
13. 现有0.2 N碱溶液20毫升, 能与40毫升未知浓度的硫酸溶液完全中和, 求此酸溶液的克当量浓度及在40毫升硫酸溶液中 H_2SO_4 的克数? (答: 0.1 N, 0.196克)
14. 0.053克 Na_2CO_3 能与多少毫升0.1 N盐酸溶液完全作用? (答: 10 ml)
15. 要配制0.1 N碳酸钠溶液0.5升, 问需用无水碳酸钠(Na_2CO_3)多少克? (答: 2.65克)

第六节 几种溶液浓度之间的换算

学习要求:

1. 掌握重量百分比浓度、克分子浓度和当量浓度之间的换算.

2. 掌握溶液配制的混合法则.

一、从溶液的比重和百分含量换算成克分子浓度或当量浓度

一定体积的某一溶液与 4°C 时同体积的水的重量比，就是这一溶液的比重。通常，在 4°C 时，1毫升水的重量为1克，所以溶液的比重可看作是1毫升溶液的重量。例如，96%的浓硫酸比重为1.84，即可看作每1毫升浓硫酸的重量是1.84克。根据比重的定义：

$$1.84 = \frac{1 \text{ 毫升浓硫酸的重量(克)}}{4^{\circ}\text{C时1 毫升水的重量}} = \frac{1 \text{ 毫升浓硫酸的重量(克)}}{1 \text{ 克}}$$

即1毫升浓硫酸的重量 = $1 \text{ 克} \times 1.84 = 1.84 \text{ 克}$

【例1】市售浓硫酸，重量百分浓度为96%，比重为1.84，求此浓硫酸的克分子浓度和克当量浓度。

【解】已知 H_2SO_4 的克分子量为98.08克，克当量为49.04克，由比重知每毫升浓硫酸重1.84克。首先计算1升浓硫酸中所含 H_2SO_4 的克数，然后再折合成1升浓硫酸中所含 H_2SO_4 的克分子数和克当量数。

已知：1毫升浓硫酸重1.84克，其中 $\text{H}_2\text{SO}_4 = 1.84 \text{ 克} \times 96\%$ 。

$$\begin{aligned} & \text{1 升浓硫酸中含 } \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ 的克分子数} \\ &= \frac{1.84 \text{ 克} \times 1000 \times 96\%}{98.08 \text{ 克}} = 18.01 \end{aligned}$$

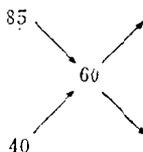
$$\begin{aligned} & \text{1 升浓硫酸中含 } \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ 的克当量数} \\ &= \frac{1.84 \text{ 克} \times 1000 \times 96\%}{49.04 \text{ 克}} = 36.02 \end{aligned}$$

答：此浓硫酸的浓度为18.01M或36.02N。

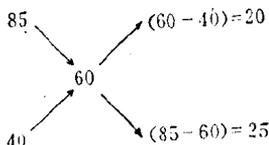
二、溶液配制的混合法则

1. 混合两种已知重量百分浓度的溶液，以配制所需重量百分浓度的溶液。例如，用85%的和40%的溶液，制备60%的溶液。计算方法可按以下步骤进行：

首先把需配制的溶液浓度，写在两条有箭头的直线交叉点上，并把已知溶液的浓度，分别写在两直线的左端（浓度较大的在上，较小的在下）



然后在每一条直线上，把两个数字相减，将其差数写在同一直线的另一端。这个差数便表示应取用的已知浓度溶液的重量份数。溶液浓度大的所得的差值，为浓度较小的溶液被取用的重量份数；溶液浓度小的所得的差值，为浓度较大的溶液被取用的重量份数。



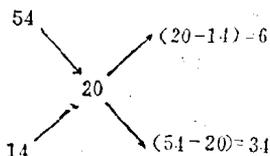
上图表明，配制60%的溶液，需要取20份重量的85%溶液和25份重量的40%溶液。

混合法则的依据：为配成所需浓度的溶液，以每份重量浓度较大的溶液比每份需配溶液多出的溶质重，为所取浓度较稀溶液的重量份数，以每份重量浓度较稀的溶液比每份需配溶液缺少的溶质重，为所取浓度较大溶液的重量份数，这

样所取较浓溶液多出的溶质总重，恰与所取较稀溶液缺少的溶质总重相等。

【例 2】现有 54% 硝酸溶液（比重 1.33）和 14% 硝酸溶液（比重 1.08），欲配制 20% 硝酸溶液，问按重量和体积各应如何配制？

按照混合法则：



上图表明，配制 20% 硝酸溶液，需要取 54% 硝酸溶液 6 份重量和 14% 硝酸溶液 34 份重量，混合后即配成 20% 硝酸溶液。

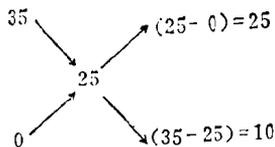
由比重的定义得知：若重量单位为克，体积单位为毫升时，溶液的比重可看作是 1 毫升溶液的重量，那么，54% 硝酸溶液（比重 1.33）6 份重量（克）折合成溶液的毫升数为： $\frac{6}{1.33} = 4.5$ 毫升。14% 硝酸溶液（比重 1.08）34 份重量

（克）折合成溶液的毫升数为： $\frac{34}{1.08} = 31.5$ 毫升。即需要取 54% 硝酸溶液 4.5 毫升和 14% 硝酸溶液 31.5 毫升，混合后即配成 20% 硝酸溶液。

2. 用溶剂稀释成所需浓度（重量%）的溶液：根据上述道理，只是左下角不是溶液的较小浓度，而是零（溶剂中没有溶质）。

【例 3】如何把 35% 的溶液稀释成 25% 的溶液？

按照混合法则：



上图表明，为了把35%的溶液稀释成25%的溶液，需取25份重量的35%的溶液加10份重量的水。

习 题

1. 求比重1.19含HCl38%的浓盐酸的当量浓度。

(答:12.4N)

2. 20%盐酸溶液比重为1.10，求它的克分子浓度。

(答:6.03M)

3. 今有含量35%的浓盐酸，欲配成10%的盐酸溶液，问应如何配法？

(答：取10份重量的浓盐酸加25份重量的水)

第七章 电解质溶液

在第三章第三节中曾讲到由于极性水分子的吸引，有些物质在水的作用下产生电离，是否所有物质都有这种性质呢？由于电离对于在水溶液中发生的反应有何影响呢？下面我们就来讨论这些问题。

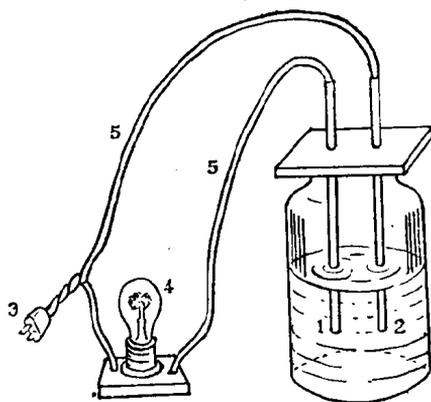
第一节 电离理论

学习要求：

1. 了解电解质和非电解质的意义。
2. 掌握电离理论的要点。
3. 理解离子化合物和具有共价键的极性分子的电离。
4. 理解电解质溶液导电的原因。

一、电解质和非电解质

首先通过以下的实验，观察几种物质的水溶液的导电情况。图7—1是试验溶液导电性质的装置。在图中，1、2是用粗铜丝做的两个电极，3为电源，4为灯泡，5为电源与两极间连接的导线。首先把两极插在待测的溶液中，然后接通电源，若溶液能导电，则灯泡发亮，若溶液不能导电，则灯



1,2 电极 3 电源 4 灯泡 5 导线
图 7—1 试验溶液导电性质的装置

泡不发亮。

我们把两个电极依次插入食盐溶液(0.1N)、氢氧化钠溶液(0.1N)、盐酸(0.1N)、蔗糖溶液和酒精溶液中进行实验(每换溶液时要将电极用蒸馏水洗净),发现当把两个电极插在食盐溶液、氢氧化钠溶液和盐酸中时,灯泡发亮,也就是说这些溶液能导电,而当把两个电极插在蔗糖溶液和酒精溶液中时,灯泡不发亮,说明这些溶液都不导电。

干燥的食盐也不导电,熔融状态的食盐能导电。

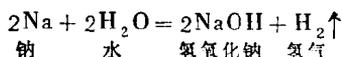
通过以上实验看出,不同物质的水溶液,有的导电,有的不导电。化学上把溶解在水中的或熔化状态下能够导电的化合物叫做电解质,不能导电的叫做非电解质。如食盐、氢氧化钠、盐酸等碱、酸、盐都是电解质。糖、酒精都是非电解质。

二、电离理论

电解质溶液导电的现象，可以用电离理论来说明。电离理论的基本概念，可以归纳为以下两点：

1. 当电解质溶解于水中或在熔融状态时，电解质的分子或多或少地离解成带电荷的微粒，这些带电荷的微粒叫做离子。电解质溶解于水中或在熔融状态时，离解成自由移动的离子的过程，叫做电离或离解。每一种电解质都能电离出带正电荷的正离子（阳离子）和带负电荷的负离子（阴离子），正离子所带正电荷的总和与负离子所带负电荷的总和相等，所以从整个溶液来看不显电性。

2. 根据原子结构得知，中性原子得到电子变为负离子；中性原子失去电子变为正离子。而离子带有电荷和中性原子或中性分子的性质完全不同。例如氢气很难溶解于水，氢离子(H^+)却能大量地存在于水溶液中。又如金属钠(Na)能与水发生反应放出氢气，其反应方程式为：



而钠离子(Na^+)与水不发生如上的反应。又如，硫酸根离子(SO_4^{2-})和氢氧根离子(OH^-)仅能存在于溶液中，而这样成分的中性分子尚未发现。由于离子和原子有着结构上的差异，所以它们具有完全不同的性质。为此，在书写离子和原子符号时不能混淆。例如，不能把钠离子(Na^+)写成钠原子(Na)等。

根据电离理论，虽然可以说明电解质溶液导电的一些现象，但并不是所有问题都能解释。随着人们实践认识的进一步提高，又推动了这一理论的发展。

三、电解质溶液导电的原理

1. 电解质的电离：我们知道离子化合物氯化钠($NaCl$)是

由钠离子(Na^+)和氯离子(Cl^-)组成的。由离子组成的晶体叫做离子晶体。在食盐的离子晶体里，由于钠离子(Na^+)和氯离子(Cl^-)强烈地互相吸引，不能自由移动，因而食盐固体不导电。当把食盐投入水中时，由于水是极性分子，钠离子(Na^+)和它周围的极性水分子的负极相吸，氯离子(Cl^-)和它周围的极性水分子的正极相吸（见图7—2），由于极性水分子的作用，而使钠离子(Na^+)和氯离子(Cl^-)相互之间的吸引力减弱，因而使它们互相分离，于是把离子从晶体表面拉入溶液，生成了被水所包围了的能自由移动的钠离子和氯离子

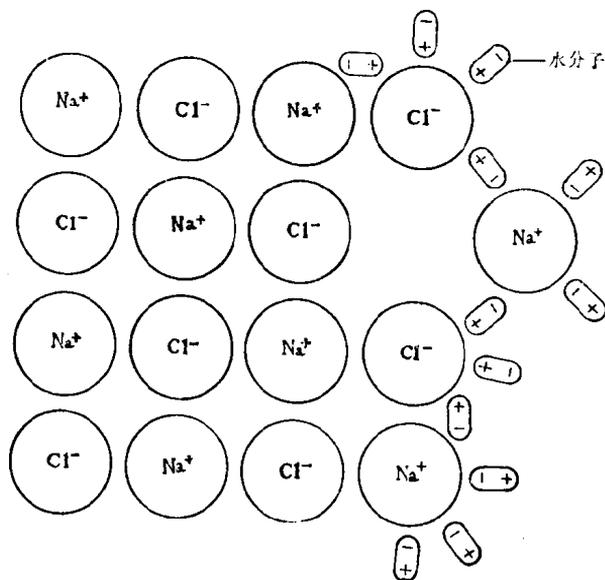


图7—2 食盐晶体在水中溶解的示意图

子(见图7—3)。这种被水包围住的离子叫做水化离子^①。

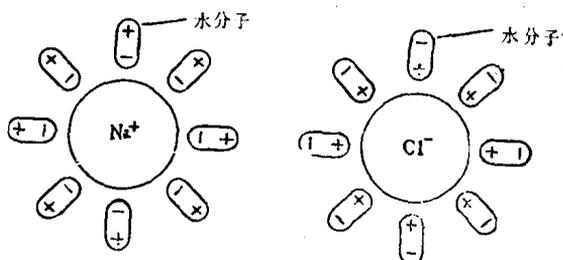


图7—3 水化钠离子和水化氯离子

由上得知，当离子晶体的盐类溶解在水中时，离子会单独地一个一个地进入溶液，而并不是以中性分子的姿态进入溶液，然后再电离，如果在这种情况下说分子离解成离子，那就是将整个晶体看作一个大的分子。

具有离子键的固体(如NaCl)受热熔融时，由于离子的运动加快，也能离解成能够自由移动的离子，所以，这种电解质在熔融状态下也能导电。

不仅具有离子键的离子化合物可以在水溶液中离解成离子，许多具有极性共价键的极性分子亦可离解成离子。例如氯化氢(HCl)分子溶解在水中时，极性分子HCl的两端与极性水分子相互吸引，由于极性水分子的作用，HCl分子中的共用电子对进一步向非金属性强的氯原子一边转移，这样极性分子的共价结构逐渐转化为离子结构，最后离解成能够自由移动的氢离子(H⁺)和氯离子(Cl⁻) (见图7—4)。

^① 为了区别在晶体中的离子和溶液中的水化离子，有的采用“·”表示水化离子的正电荷(如Na⁺表示水化钠离子)，用“⁻”表示水化离子的负电荷(如Cl⁻表示水化氯离子)。

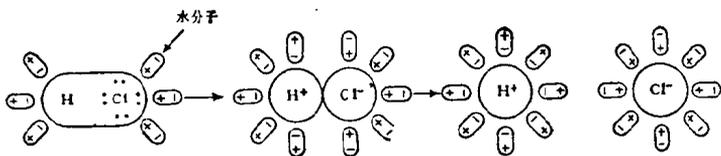
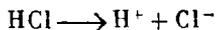


图 7-4 极性分子HCl在水中的电离示意图

电解质的电离，可以用电离方程式(或电离式)来表示。在电离方程式中，方程式的左边写被离解分子的分子式，右边写离解生成的离子。例如 NaCl 和 HCl 在溶液中的电离可用下面的电离方程式表示：



至于非电解质，在水中仍以分子状态存在。

2. 电解质溶液导电的原理： 根据电离理论，电解质在溶液中电离成自由移动的正、负离子。下面我们讨论这些离子在溶液中是如何导电的。

我们知道，金属的化学性质是容易失去电子，因此，在金属晶体中，存在着由金属原子上脱落下来的能够自由移动的电子，叫做自由电子。当电源与金属相连接时，在金属导线中，自由电子按一定方向移动，形成电流。这就是金属导电的原因。

电池是一种电源装置，在它的负极上集聚的电子比正极上多，因而在负极上形成一种电子压力。如果将外电路接通后，电子就受这种压力的影响，开始沿导线由负极移向正极，负极所减少的电子数，立刻由电源给予补充，这样在金

属导线中就形成不断的电子循环。

如果在电解质溶液中加入两个与电源两极相连接的电极（见图7—5），则一个电极为正极，另一个电极为负极。

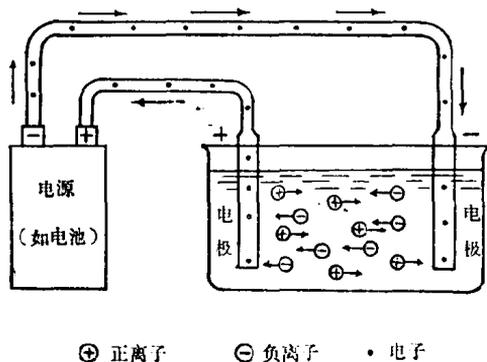


图7—5 电解质溶液导电原理示意图

在负极上的电子，不能象在金属导线中一样由负极移向正极，但溶液中有离子，离子受电极的吸引，立刻开始沿两个相反方向移动，正离子移向负极，达到负极后由负极上取得电子而成为中性原子，负离子移向正极，把自己多余的电子给予正极成为中性原子或原子团。由此看出，由于正离子移向负极取得电子，使电子不断地从负极上除去，由于负离子移向正极给出电子，使电子又转入了正极，这样由于正、负离子的不断分别向负、正两极移动，使导线中保持了电子不断流动。这样在溶液中移动的不是电子，而是带正电和带负电的离子。虽然实际上负离子交给正极的是它自己原有的电子，不是从负极移入溶液的电子，但看来好象这些离子在溶液中将电子从负极移到正极一样。由于离子的定向移动，而将电子从负极移到了正极，因而电解质溶液具有了导电的性质。

由上得知，电解质溶液导电的原理与金属导电的原理是完全不相同的。金属导电是借自由电子的定向移动，而电解质溶液则是借离子的定向移动而导电的。所以，没有离子存在的非电解质溶液是不能导电的。

习 题

1. 什么是电解质？什么是非电解质？
2. 铜、铝都能导电，它们是不是电解质？为什么？
3. 什么叫电离？有人说：“电解质溶液中通过电流的时候发生电离”，这种说法对不对？为什么？
4. 举例说明氢离子 (H^+) 与氢气；钠离子 (Na^+) 与金属钠 (Na) 性质上有什么区别？
5. 说明电解质溶液导电的原理。
6. 为什么干燥的食盐不能导电，而食盐在熔融状态或在溶液里都能导电？
7. 写出下列各物质在水溶液里的电离方程式：
氢氧化钾，硝酸，氯化钾，氯化钙。
8. 有人说：“电解质溶液是借电子的移动而导电的”，这种说法对不对？应该怎样说法才正确？

第二节 弱电解质和强电解质

学习要求：

1. 理解弱电解质溶液中的电离平衡。
2. 掌握电离度以及强、弱电解质的意义。
3. 了解强电解质溶液中的状况。
4. 能正确写出一般电解质的电离方程式。

我们已经知道，酸、碱、盐在水溶液中都能电离，因而

它们的水溶液都能导电.不同的酸、碱、盐溶液,在相同条件下的导电能力是不相同的.这可用下面的实验说明.

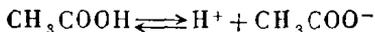
装置如图7—1.取同样的两只烧杯,一只烧杯中加入约半烧杯的 $0.1M$ 盐酸溶液,另一只烧杯中,加入与 $0.1M$ 盐酸溶液相同体积的 $0.1M$ 醋酸溶液,然后把两个电极插在盐酸溶液中,接通电源,看到灯泡发亮.隔绝电源,把电极从盐酸溶液中取出,用蒸馏水洗净后再插到醋酸溶液中,接通电源,此时看到灯泡也亮,但亮的程度比前者差.我们已经知道,电解质溶液所以能够导电,是因为溶液里有能够自由移动的离子存在.显然,溶液中的离子数目多,溶液的导电能力就强,溶液中的离子数目少,溶液的导电能力就弱.因此,根据上面的实验现象,我们可以断定 $0.1M$ 的盐酸溶液中比同体积的 $0.1M$ 醋酸溶液中含有更多的离子.

但是,相同体积、相同克分子浓度的溶液中所含溶质的分子数必然相等.例如,1升 $0.1M$ 溶液,其中含有 0.1 克分子溶质.因为1克分子物质都含有 6.02×10^{23} 个分子,所以 0.1 克分子溶质必含有 $6.02 \times 10^{23} \times 0.1$ 个溶质分子.假设按1个盐酸分子(HCl)和1个醋酸分子(CH_3COOH)都电离出1个氢离子(H^+)和1个酸根离子,由于盐酸和醋酸的分子数相同,并且它们每个分子电离出的离子数目又相同,则在相同体积,相同克分子浓度的两种溶液中,就应含有相同数目的离子,如果这一假设属实,那就无法解释为什么上述盐酸溶液和醋酸溶液具有不同的导电性.那么怎样解释上述实验现象呢?下面分两种情况来说明.

一、弱电解质溶液中存在着电离平衡

对于醋酸溶液,可以用溶液中存在着电离平衡来解释.

根据电离理论我们知道，在电解质溶液里，当电解质的分子电离成正、负离子的同时，还发生着因离子碰撞而可能重新组成分子的逆过程。向右进行的过程“ \rightarrow ”叫正过程，向左进行的过程“ \leftarrow ”叫逆过程。为了表示电离是可逆的，在电离方程式中用方向相反的箭头“ \rightleftharpoons ”表示。例如，醋酸的电离是可逆的。醋酸分子电离为氢离子（ H^+ ）和醋酸根离子（ CH_3COO^- ），其逆过程就是氢离子（ H^+ ）和醋酸根离子（ CH_3COO^- ）由于碰撞而重新组成醋酸分子，所以醋酸的电离方程式可用下式表示：



当正、逆两过程的速度相等时，也就是当电离成离子的分子数目等于在同一时间内由离子又重新生成分子的数目时，分子和离子间达到了动态平衡。这种平衡是化学平衡的一种，叫做离子平衡。这里是分子的电离，所以也叫做电离平衡。

由于有电离平衡存在，因此电离不能进行到底。为了表示平衡时电离的程度，提出了电离度的概念。电解质电离达到电离平衡时，已经电离的电解质分子数和电解质分子总数（包括已电离的分子数和未电离的分子数的总和）的比值，叫做电离度。

$$\text{电离度} = \frac{\text{已电离的电解质分子数}}{\text{电解质分子总数}}$$

电离度通常用百分数表示。例如，溶于水中的醋酸，每1000个醋酸分子中有13个分子电离为离子，则醋酸在此溶液中的电

$$\text{离度为} \frac{13}{1000} = 1.3\%$$

表7—1 18°C时在0.1N溶液中酸、碱①和盐的电离度

电解质 (酸)	分子式	电离度 %	电解质 (碱)	分子式	电离度 %	电解质 (盐)	分子式	电离度 %
盐酸	HCl	92	氢氧化钾	KOH	89	氯化钾	KCl	86
氢溴酸	HBr	92	氢氧化钠	NaOH	84	氯化铵	NH ₄ Cl	85
氢碘酸	HI	92	氢氧化钡	Ba(OH) ₂	77	氯化钠	NaCl	84
硝酸	HNO ₃	92	氨	NH ₃ ·H ₂ O②	1.3	硝酸钾	KNO ₃	83
硫酸	H ₂ SO ₄	58				硝酸银	AgNO ₃	81
亚硫酸	H ₂ SO ₃	34				醋酸钠	CH ₃ COONa	79
磷酸	H ₃ PO ₄	27				氯化锌	ZnCl ₂	73
氢氟酸	HF	8.5				硫酸钠	Na ₂ SO ₄	69
醋酸	CH ₃ COOH	1.3				硫酸锌	ZnSO ₄	40
碳酸	H ₂ CO ₃	0.17				硫酸铜	CuSO ₄	40
氢氰酸	H ₂ S	0.07						
氢氟酸	HCN	0.01						
硼酸	H ₃ BO ₃	0.01						

① 表中的多价酸和碱，是指它们电离出第一个H⁺离子或OH⁻离子时的电离度。

② 参看第九章第三节。

由表 7—1 可以看出，电离度的数值对不同电解质来说相差很大，有的大至 92%，有的小至 0.01%。通常把电离度大的电解质（30%以上者）叫做强电解质，电离度小的电解质（3%以下者）叫做弱电解质。介于二者之间的叫做中强电解质。例如，盐酸、硫酸、硝酸、氢氧化钾、氢氧化钠以及大部分盐类（如 KCl、NaCl 等）都是强电解质；醋酸、氨水（ $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ）等则是弱电解质。当然在强、弱电解质之间并没有绝对的界限。

电离度和电解质的性质有关，此外，还和溶液的浓度有关。电离度随着溶液的冲稀而增加。因此，当提到电解质的电离度时，必须指出溶液的浓度。

温度对一般电解质的电离度影响不大，但是水例外，水是极弱的电解质，当温度升高时，水的电离度增加得比较显著。

我们已经知道，酸类所以呈酸性反应，是因为它们都有氢离子生成的缘故，而碱类所以呈碱性反应，是因为它们都有氢氧根离子生成的缘故。因此，一定浓度的酸或碱能生成多量氢离子或氢氧根离子的，它们的酸性或碱性反应一定较强。反之，如果只能生成少量氢离子或氢氧根离子，那么，它们的酸性或碱性反应一定较弱。所以，所谓强酸、弱酸或强碱、弱碱的区别，就决定于那种酸或碱的电离度的大小。

二、强电解质在溶液中的状况

电离平衡不适用于强电解质，强电解质在溶液中是完全电离的。例如，不论是离子化合物（如 NaCl 离子晶体中原来就没有分子）还是由极性分子组成的物质（如 HCl），在水溶液中由于和水分子的相互作用，都完全电离为离子，因而溶液中没有分子存在。既然这些电解质在溶液中都完全电离，

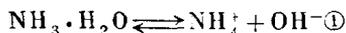
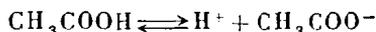
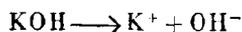
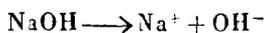
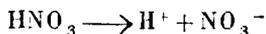
它们的电离度似乎都应该等于100%，但事实并不如此。这是因为，离子都是带电荷的颗粒，在溶液中它们互相影响。当它们运动时，带相同电荷的离子互相排斥，不同电荷的离子互相吸引，其结果是在每一离子的周围分布着较多的相反电荷的离子，使离子彼此受着相互牵制的作用，这种牵制作用反映在由实验测得的电离度上就是小于100%。这样由实验测得的电离度，并不代表这些电解质在溶液中电离了的分子的百分数，因为这些电解质在溶液中实际上是完全电离的，但是这些数值多少能反映一些在溶液中离子间牵制作用的强弱程度，所以我们还保留下来。为了区别于真正的电离度，这样由实验测得的强电解质溶液的电离度，叫做表观电离度（溶液中离子间的牵制作用愈强，则表观电离度愈小）。例如在18°C时，0.1N盐酸的表观电离度为92%。

由以上可知，由于弱电解质（如醋酸）溶液中存在着电离平衡，电离不能进行到底，而强电解质（如HCl）在溶液中完全电离，所以在相同条件下，弱电解质溶液中的离子数目必然比强电解质溶液中的离子数目少，因而，弱电解质溶液的导电能力比强电解质溶液的导电能力差。

在电离过程中，水分子的作用是变化的外因，电解质的分子结构是变化的内因。凡是典型离子化合物，因为这类物质本身是由正、负两种离子组成的，电离只不过是水分子的作用下，使正、负离子摆脱彼此间的引力，形成游离的水化离子而已。极性共价键化合物中的极性较强的分子（如HCl）在水分子作用下，共用电子对进一步向非金属强的原子转移，进而电离成自由移动的正、负离子。极性较弱的分子（如醋酸）其共价键不易转化为离子键，在极性水分子的作用下，

虽然也能生成一些 H^+ 离子和醋酸根离子(CH_3COO^-),但数量很少,溶液中仍存在着大量的醋酸分子.水分子的作用不能使弱极性共价键化合物(如糖、酒精等)分子中的共用电子对转移给一种原子而电离成自由移动的离子,所以这类物质都是非电解质,它们的水溶液都不能导电.

下面是一些强电解质和弱电解质的电离方程式:



如果酸的分子里含有几个可以电离出的氢离子,或碱的分子里含有几个可以电离出的氢氧根离子,这种酸或碱的电离实际是分成几步进行的,也叫分级电离.例如磷酸(H_3PO_4)的电离是分三步进行的:



一级电离的电离度较大,这就是说从 H_3PO_4 分子中分离出第一个 H^+ 离子比较容易.二级电离的电离度要小得多,因为二级电离是从 H_2PO_4^- 离子中分出第二个 H^+ 离子,这个 H^+ 离子必须克服带两个负电荷的 HPO_4^{2-} 离子的吸引,显然它比第一个 H^+ 离子克服带一个负电荷的 H_2PO_4^- 离子的吸引要困

① 参看第九章第三节.

难得多。至于第三级电离，由于类似的原因，电离度当然更小了。所以，磷酸溶液中的负离子大部分是 H_2PO_4^- 离子，只有较少的 HPO_4^{2-} 离子，而 PO_4^{3-} 离子则更少了。

习 题

1. 举例说明什么叫电离平衡？

2. 什么叫电离度？说明电离度的表示方法。

3. 区别下列各对名词，并举例说明。

(1) 强电解质和弱电解质 (2) 强酸和弱酸 (3) 强碱和弱碱

4. 写出下列酸、碱、盐的电离方程式：

CH_3COOH ; $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$; NH_4Cl ; CH_3COONa ; HNO_3 ;

H_3PO_4 ; H_2SO_4 。

5. 什么叫表观电离度？它与电离度有什么区别？

6. 有0.1N氨水($\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)和0.1N氯化铵(NH_4Cl)溶液各1升，分别盛在两只烧杯里，问铵根离子(NH_4^+)的数量哪个多些？为什么？

7. 举例说明什么叫分级电离。

第三节 离子反应和离子方程式

学习要求：

1. 理解离子方程式的实质，会写简单的离子方程式。

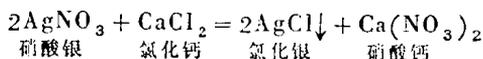
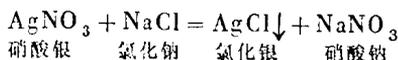
2. 掌握发生离子互换反应的必需条件。

一、离子反应和离子方程式

电解质溶解于水后，就电离成为离子，所以电解质在溶液里所起的反应，必然是离子之间的反应。

如取两只试管，各加入约 1 毫升 0.1N 硝酸银(AgNO₃)溶液，然后往第一只试管中滴加 0.1N 氯化钠溶液数滴，在第二只试管中滴加 0.1N 氯化钙(CaCl₂) 溶液数滴，可以看到在两只试管中同样都有白色氯化银(AgCl)沉淀生成。

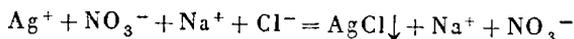
上述实验的反应方程式为：



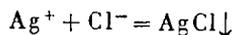
在上面的两个反应中都能生成 AgCl 沉淀，就是因为每个反应的溶液里，都含有 Ag⁺ 离子和 Cl⁻ 离子的缘故。

因此，电解质在水溶液里所起的反应，实际上是它们离子间所起的反应，这种反应叫做离子反应。

例如，混和硝酸银和氯化钠溶液时，因为它们都是强电解质，溶液中没有硝酸银分子和氯化钠分子，而只有 Ag⁺、NO₃⁻、Na⁺ 和 Cl⁻ 离子，反应后生成了难溶于水的氯化银(AgCl)，Na⁺ 离子和 NO₃⁻ 离子没有参加反应，仍存在于溶液中，因此，硝酸银溶液和氯化钠溶液混和发生反应的方程式可写成：



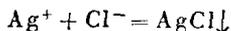
在上式中，把没有参加反应的离子可以省去，这样从方程式两边消去没有参加反应的离子后得到下式：



这就是在溶液中硝酸银和氯化钠发生反应的离子方程式。它更能表示离子反应的实质。显然，在溶液中溶有任何银盐和氯化物，它们之间的反应都可以用这个离子方程式来表示。因为在所有这些情况下，都会发生同样的 Ag⁺ 离子和 Cl⁻ 离

子结合生成氯化银沉淀的反应.因此,我们可以利用 Ag^+ 离子来检查溶液中是否有 Cl^- 离子存在; 同样也可以利用 Cl^- 离子来检查 Ag^+ 离子是否存在.

由上得知, 离子方程式和一般化学方程式不同, 它可以表示所有同一类型的离子反应. 例如, 上面所列举的, 在溶液中硝酸银与氯化钠和硝酸银与氯化钙都生成 AgCl 沉淀的两个反应, 都属于由离子方程式:



所表示的类型.

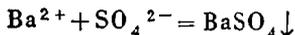
写离子方程式的方法和步骤可归纳为以下几点:

1. 写出反应的分子方程式.

2. 把实际上不溶解的物质(如 $\text{AgCl}\downarrow$ 、 $\text{CuS}\downarrow$ 等)或难电离的物质(如 H_2O 、 CH_3COOH 等)以及气态物质(如 CO_2 、 SO_2 等)保留为分子的形式, 因为溶液中由它们所产生的离子很少. 将易溶的强电解质都写成离子形式, 也就是写出它们电离所生成的离子.

3. 除去不参加反应的离子. 也就是消去方程式两边以相同数目出现的同样的离子.

4. 检查方程式两边的各种元素的原子数目, 和正、负电荷数的代数和是否相等. 例如, 钡离子 (Ba^{2+}) 和硫酸根离子 (SO_4^{2-}) 生成硫酸钡 (BaSO_4) 沉淀的离子方程式为:

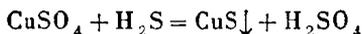


方程式左、右两边各有一个钡、一个硫和四个氧; 方程式左边的正、负电荷(钡离子带两个正电荷, 硫酸根离子带两个负电荷)的代数和为零 [$+2 + (-2) = 0$], 方程式右边的电荷数亦为零 (BaSO_4 不带电荷), 这说明这个离子方程式是正

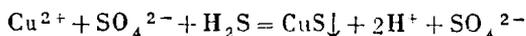
确的。

下面我们按上列步骤，写出弱酸氢硫酸（ H_2S ）和硫酸铜反应的离子方程式。

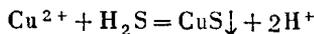
1. 写出反应的分子方程式：



2. 保留不溶物和难电离物质的分子式，将易溶强电解质写成离子形式。上式中 H_2S 是弱电解质，硫化铜（ CuS ）是沉淀，保留分子式：



3. 消去方程式两边未参加反应的离子（上式中的 SO_4^{2-} 离子）：

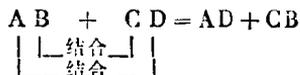


4. 检查方程式左、右两边都有一个铜、两个氢和一个硫；方程式左边和右边都有两个正电荷，所以这个离子方程式是正确的。

在熟练的情况下，可以不按上述步骤，直接写出离子方程式。

二、离子互换反应

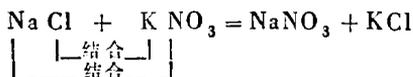
在水溶液中的电解质之间发生的反应，很多是离子互换反应（也就是电解质溶液里的复分解反应）。这类反应可以用下列一般方程式表示，式中用 AB、CD 代表两种参加反应的化合物；AD、CB 代表反应生成的两种化合物：



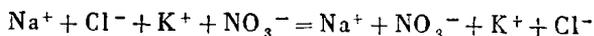
如果 AB、CD 都是强电解质，它们在溶液中完全电离，则溶液中只有 A^+ 、 B^- 、 C^+ 、 D^- 四种离子。这时反应能否进行，

要看生成物AD和CB的溶解度和电离度来决定。这里可能有两种情况：

1. 生成物都是易溶于水的强电解质，则溶液中实际上没有发生反应。例如混和NaCl和KNO₃的溶液时，如果它们能起互换反应，其分子方程式为：



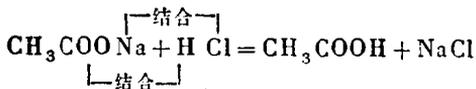
因为这四种盐都是易溶于水的强电解质，可以用它们的离子来表示，即：



由上可以看出，混和前后都是Na⁺、Cl⁻、K⁺、NO₃⁻四种离子，而且混和时也没有放热或吸热现象，所以实际上在溶液中根本没有发生任何反应。因此，上面的反应方程式不能成立。

2. 生成物之一是难电离的弱电解质或不溶于水的沉淀和挥发性的气体，则反应可以进行得比较完全。即使反应物是弱电解质或难溶物，只要生成物是更难电离，或更难溶解，或是气态物质，反应仍能进行。例如下列各类离子互换反应，实际上可以进行。

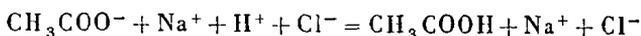
【例1】混和醋酸钠(CH₃COONa)溶液和盐酸生成弱电解质醋酸(CH₃COOH)的反应。其分子方程式为：



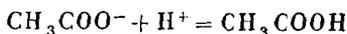
醋酸钠和盐酸都是强电解质，在溶液中分别电离出醋酸根离子(CH₃COO⁻)、Na⁺离子、H⁺离子和Cl⁻离子。混和后，H⁺离子和CH₃COO⁻离子结合生成了弱电解质醋酸(CH₃COOH)

分子，这种结合将继续进行，直到溶液中剩下的 H^+ 离子和醋酸根离子(CH_3COO^-)与生成的醋酸分子达到平衡时为止。所以当混和醋酸钠溶液和盐酸后，反应向生成弱电解质醋酸的方向进行。

把上面分子方程式中的强电解质(CH_3COONa 、 HCl 和 $NaCl$)改为离子形式，上式可写成：

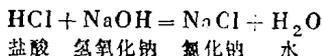


消去方程式两边未参加反应的离子，则其离子方程式为：



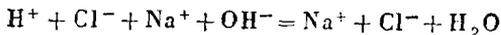
所以这个离子互换反应的实质，就是由醋酸根离子(CH_3COO^-)和 H^+ 离子生成弱电解质醋酸(CH_3COOH)的反应。

【例2】强酸(如盐酸)和强碱(如 $NaOH$)溶液混和生成弱电解质水的中和反应。其分子方程式为：

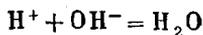


盐酸和氢氧化钠都是强电解质，在溶液中分别电离出 H^+ 离子、 Cl^- 离子； Na^+ 离子和 OH^- 离子。混和后 H^+ 离子和 OH^- 离子结合生成弱电解质水，所以反应向生成弱电解质水的方向进行。

把上面分子方程式中的强电解质(HCl 、 $NaOH$ 和 $NaCl$)改为离子形式，上式可写成：

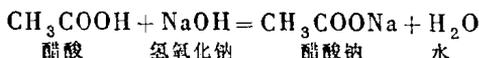


消去方程式两边未参加反应的离子，则其离子方程式为：

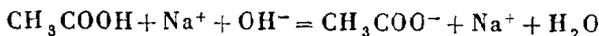


这个离子方程式是表示任何强酸和强碱中和的离子方程式。所以任何强酸和强碱的中和反应的本质，都是氢离子 (H^+) 和氢氧根离子 (OH^-) 生成水的反应。

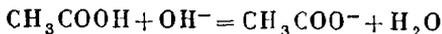
【例 3】中和反应中，如果反应物之一是弱电解质，由于生成物中的水是比它更弱的电解质，反应仍然可以进行。例如弱酸醋酸和强碱氢氧化钠的中和反应。其分子方程式为：



因为醋酸为弱电解质，在溶液中部分电离为 H^+ 离子和 CH_3COO^- 离子。NaOH 是强电解质，在溶液中能全部电离，生成大量 OH^- 离子和 Na^+ 离子。两溶液相混后， H^+ 离子和 OH^- 离子相遇，结合生成比醋酸分子更难电离的水分子，破坏了醋酸的电离平衡，使醋酸不断电离，反应向生成更弱电解质水的一方进行。上面的分子方程式中，NaOH、 CH_3COONa 是强电解质， CH_3COOH 是弱电解质， H_2O 是比醋酸更难电离的物质。如果把强电解质改写成离子形式，则上式可写成：



消去方程式两边未参加反应的离子，其离子方程式为：



由此可知，凡是有弱酸或弱碱参加的中和反应，不能用代表强酸、强碱中和反应的离子方程式： $H^+ + OH^- = H_2O$ 来表示。

如果生成物中有难溶于水的物质，则离子互换反应也能发生。例如前面介绍的混和 NaCl 溶液和 $AgNO_3$ 溶液时生成 AgCl 沉淀的反应。这个离子互换反应之所以能发生，就是由于生成了实际上不溶于水的 AgCl 的缘故。

综上所述，从电离理论的观点来看，离子互换反应的本质，就是离子结合生成难溶或难电离的新物质分子的作用。因此，在电解质溶液中进行离子互换反应的必需条件，就是生成难溶解的物质或弱电解质的物质。电解质溶液中的反应，常向生成最难电离或最难溶解的物质的方向进行。若在反应中这种物质一个也没有生成，反应就根本不能发生。

在生产斗争和科学实验中，会遇到大量的离子反应。我们掌握了有关离子反应的规律，就能检验未知离子的存在，制取以及提纯物质等。例如钡离子 (Ba^{2+}) 遇到硫酸根离子 (SO_4^{2-})，立即生成白色硫酸钡 (BaSO_4) 沉淀，所以可以用钡盐溶液检验 SO_4^{2-} 离子的存在。又如，工业上为了制烧碱，要把食盐水电精制以除去其中的 SO_4^{2-} 离子、 Ca^{2+} 离子和 Mg^{2+} 离子等杂质，就可以加入一些物质，使这些离子生成难溶物质从溶液中除去。

习 题

1. 写出下列各个反应的分子方程式和离子方程式。

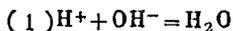
- (1) 硝酸钡溶液和硫酸钠溶液；
- (2) 氢氧化钠溶液和硫酸铵溶液；
- (3) 氢氧化钠溶液和硝酸；
- (4) 盐酸和氢氧化钾溶液。

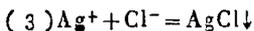
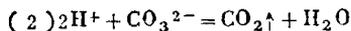
2. 为什么可以用硝酸银溶液来检验溶液中是否有氯离子 (Cl^-) 存在？氯酸钾 (KClO_3) 中含有氯能否用此法检验？为什么？

3. 如何检验溶液中存有 SO_4^{2-} 离子？

4. 离子方程式比分子方程式有什么优点？

5. 选择适当的反应物，写出相应于下列离子方程式的分子方程式。





6. 举例说明在电解质溶液中进行离子互换反应的必需条件。

7. 用足量的盐酸跟0.2N硝酸银溶液5毫升起反应，能析出氯化银多少克？
(答：0.143克)

第四节 水的电离和pH值

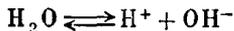
学习要求：

1. 从 $[\text{H}^+]$ 和 $[\text{OH}^-]$ 的关系理解溶液的中性、酸性和碱性。

2. 了解pH值的意义，掌握pH试纸的用法。

一、水的电离

纯水不容易导电，但用精密仪器仍可测出它有很小的导电能力，所以说水是极弱的电解质，它只能微弱地电离为 H^+ 离子和 OH^- 离子，水的电离方程式为：



一个水分子电离成一个 H^+ 离子和一个 OH^- 离子，所以纯水中 H^+ 离子和 OH^- 离子的浓度必然相等。

在第四章第一节中，我们曾经讨论过，根据溶液使石蕊试纸变色的情况，分为中性溶液、酸性溶液和碱性溶液。下面我们从电离观点来认识中性、酸性和碱性溶液的本质。

如果溶液中的 H^+ 离子浓度和 OH^- 离子浓度相等，这种溶液叫做中性溶液。如果溶液中 H^+ 离子浓度大于 OH^- 离子浓度，这时 H^+ 离子是取得支配地位的矛盾的主要方面，则溶液

显酸性，即为酸性溶液。如果溶液中 H^+ 离子浓度小于 OH^- 离子浓度，这时 OH^- 离子是取得支配地位的矛盾的主要方面，则溶液显碱性，即为碱性溶液。但无论在酸性、碱性或中性水溶液中，必然同时存在着 H^+ 离子和 OH^- 离子，溶液显酸性、碱性还是中性，是由溶液中 H^+ 离子浓度和 OH^- 离子浓度的相对大小来决定的。

二、pH值

上面讨论了溶液的酸碱性是由溶液中 H^+ 离子浓度和 OH^- 离子浓度的相对大小决定的。由于溶液的酸碱性在工农业生产中有着重要意义，为此，下面对溶液的酸碱性再做简略地定量介绍。

实验测得：纯水中的 $[H^+]$ 和 $[OH^-]$ 相等，都等于 10^{-7} 克离子/升^①；酸性溶液中含有较多的 H^+ 离子；碱性溶液中则含有较多的 OH^- 离子。

由上得知：

中性溶液中 $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$ 克离子/升；

酸性溶液中 $[H^+] > [OH^-]$ ， $[H^+] > 10^{-7}$ 克离子/升；

碱性溶液中 $[H^+] < [OH^-]$ ， $[H^+] < 10^{-7}$ 克离子/升。

因为稀溶液中的 H^+ 离子浓度很小，如果用 H^+ 离子的浓度来表示溶液酸碱性的强弱程度，很不方便，通常用 H^+ 离子浓度的负对数来代替，叫做pH值：

^① 一个H原子和一个 H^+ 离子相差一个电子，因为电子的重量很小，可以忽略不计，所以1克原子氢和1克离子氢的重量视为相同，都为1.008克。同理，1克离子 OH^- 离子重为17.01克。方括号〔 〕表示克分子浓度或克离子浓度。例如， $[H^+] = 10^{-7}$ 克离子/升，是指1升这种溶液中含有 10^{-7} 克离子的 H^+ 离子。

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

中性溶液中 $[\text{H}^+] = 10^{-7}$ 克离子/升,

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = -\log 10^{-7} = 7$$

酸性溶液中 $[\text{H}^+] > 10^{-7}$ 克离子/升,

$$\text{设 } [\text{H}^+] = 10^{-6} \text{ 克离子/升, } \text{pH} = -\log 10^{-6} = 6$$

碱性溶液中 $[\text{H}^+] < 10^{-7}$ 克离子/升,

$$\text{设 } [\text{H}^+] = 10^{-8} \text{ 克离子/升, } \text{pH} = -\log 10^{-8} = 8$$

由以上几式可以看出: 中性溶液: $\text{pH} = 7$

酸性溶液: $\text{pH} < 7$

碱性溶液: $\text{pH} > 7$

pH值的应用范围, 通常在 $0 \sim 14$ 之间, 如下所示:



pH = 7 时溶液呈中性.

pH < 7 时溶液呈酸性. pH值愈小溶液酸性愈强.

pH > 7 时溶液呈碱性. pH值愈大溶液碱性愈强.

测定溶液的pH值的方法很多, 比较粗略的方法是用pH试纸来测定. 这种试纸在不同pH值的溶液中显示不同的颜色. 测定时, 把溶液滴在pH试纸上, 然后将试纸上出现的颜色和标准比色板(商品pH试纸, 均带有标准比色板, 在标准比色板上, 划着标明pH值的各种颜色)上的颜色相对

照，即可知欲测溶液的pH值。

在实际生产中，pH值的测定是很重要的。例如，一般农作物适宜在中性、弱酸或弱碱性的土壤中生长，酸性或碱性太强的土壤，对于作物的生长都是不利的。因此，在农业生产中常常需要测定土壤的酸碱性。

我们在第四章第一节讨论过用石蕊等指示剂来测定溶液的酸碱性。最常用的指示剂是甲基橙、石蕊和酚酞。它们在溶液中的变色范围是：

甲基橙 $\text{pH} < 3.1$ 红, $\text{pH} > 4.4$ 黄, $\text{pH} 3.1 - 4.4$ 橙;
石蕊 $\text{pH} < 5.0$ 红, $\text{pH} > 8.0$ 蓝, $\text{pH} 5.0 - 8.0$ 紫;
酚酞 $\text{pH} < 8.0$ 无色, $\text{pH} > 10.0$ 红, $\text{pH} 8.0 - 10.0$ 浅红。

习 题

1. 从溶液中 $[\text{H}^+]$ 和 $[\text{OH}^-]$ 的关系，说明溶液的中性、酸性和碱性。
2. 什么是pH值？说明 $\text{pH} = 7$ ， $\text{pH} > 7$ 和 $\text{pH} < 7$ 的溶液各呈何性（中性、酸性、碱性）？
3. 说明如何用pH试纸来测定溶液的pH值。
4. 举例说明在生产实际中pH值测定的重要性。

第五节 盐类的水解

学习要求：

1. 从平衡观点认识盐类的水解。
2. 了解水解的用途。

盐类可以由酸碱中和而制得，那么，至少正盐的溶液应当呈中性。这个想法是否正确呢？我们先来做下面的实验。

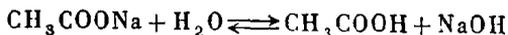
在三只试管中，分别加入浓度均为0.1N的氯化钠、碳酸钠和硫酸铵 $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ 溶液，然后往各试管中加入几滴石蕊试液，结果碳酸钠溶液使石蕊变蓝色，说明溶液呈碱性；硫酸铵溶液使石蕊变红色，说明溶液呈酸性；只有盛氯化钠溶液的试管中石蕊仍显紫色，说明溶液呈中性。

通过上述实验说明，只有强酸和强碱生成的盐（如NaCl）溶于水，溶液呈中性。若组成盐的酸和碱，二者之中有一个是弱电解质，〔如强碱NaOH和弱酸碳酸 H_2CO_3 生成的 Na_2CO_3 ；强酸 H_2SO_4 和弱碱氨水生成的 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 〕，则生成的盐溶于水，溶液并不呈中性。为什么会出现这种现象呢？这是由于盐类在溶液中发生了水解的缘故。盐类的水解反应也是一种离子互换反应，其实质可认为是盐类的离子与水作用而生成弱电解质，从而破坏了水的电离平衡。

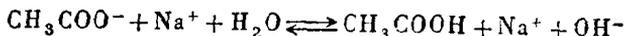
下面我们从电离观点，说明盐类水解的实质。由于酸和碱的强弱不同，盐类的水解情况也不相同。下面我们讨论三种类型的盐的水解。

一、弱酸和强碱生成的盐发生水解，溶液呈碱性。

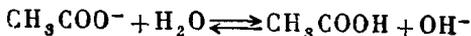
【例1】醋酸钠 $(\text{CH}_3\text{COONa})$ 的水解。醋酸钠水解生成醋酸和氢氧化钠，其分子方程式为：



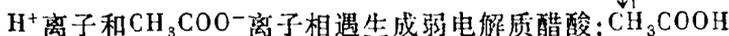
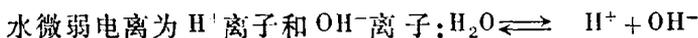
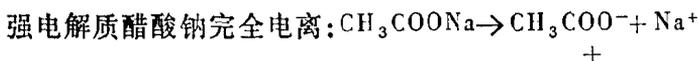
将易溶强电解质写成离子形式：



则离子方程式为：



现从电离平衡来分析。在溶液中：

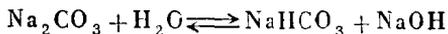


因为NaOH为强碱，Na⁺离子和OH⁻离子并不互相结合。

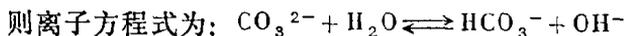
由于H⁺离子和醋酸根离子(CH₃COO⁻)结合生成弱电解质醋酸分子(CH₃COOH)，这样就减少了溶液中的H⁺离子，破坏了水的电离平衡，水就继续电离为H⁺离子和OH⁻离子，直到再建立起新的平衡。随着醋酸分子的不断生成，H⁺离子不断被束缚在醋酸分子中，溶液中OH⁻离子的数目就逐渐增加。这时溶液中OH⁻离子浓度大于H⁺离子浓度，溶液呈碱性。

由上看出，醋酸钠中的醋酸根离子(CH₃COO⁻)和水发生作用，生成弱电解质醋酸，是醋酸钠的水解作用的实质。

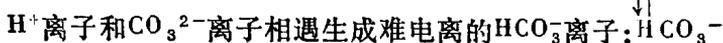
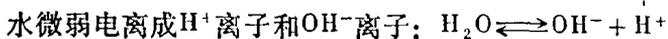
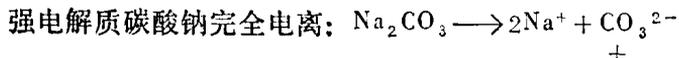
【例2】碳酸钠(Na₂CO₃)的水解。碳酸钠溶于水产生水解，首先生成的是酸式盐(酸式碳酸钠NaHCO₃)。其分子方程式为：



将易溶强电解质写成离子形式：

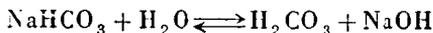


下面从电离平衡分析碳酸钠的第一步水解反应。在溶液中：

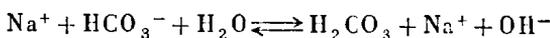


由于氢氧化钠是强碱， Na^+ 离子和 OH^- 离子不能结合成分子。由于 H^+ 离子和 CO_3^{2-} 离子结合成难电离的酸式碳酸根离子 (HCO_3^-)，这样就减少了溶液中的 H^+ 离子，破坏了水的电离平衡，水就继续电离为 H^+ 离子和 OH^- 离子，直到再建立起新的平衡。随着 HCO_3^- 离子的不断生成， H^+ 离子不断被束缚在 HCO_3^- 离子中，溶液中 OH^- 离子的数目就逐渐增加。这时溶液中 OH^- 离子浓度大于 H^+ 离子浓度，溶液呈碱性。

第二步，酸式碳酸盐进一步水解，其分子方程式为：



将易溶强电解质写成离子形式：



则离子方程式为： $\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{OH}^-$

从平衡观点来分析，在水溶液中：

强电解质 NaHCO_3 完全电离： $\text{NaHCO}_3 \longrightarrow \text{Na}^+ + \text{HCO}_3^-$

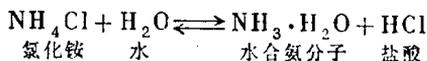
水微弱电离为 H^+ 离子和 OH^- 离子： $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{OH}^- + \overset{+}{\text{H}}$

HCO_3^- 离子和 H^+ 离子结合成弱电解质 H_2CO_3 ： H_2CO_3

达到平衡时，溶液中 OH^- 离子浓度大于 H^+ 离子浓度，溶液呈碱性。

二、强酸和弱碱所生成的盐发生水解，溶液呈酸性。

例如，氯化铵 (NH_4Cl) 的水解：氯化铵水解生成水合氨分子 ($\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 和盐酸。其分子方程式为：



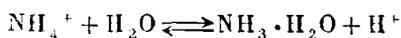
从平衡观点来分析，在水溶液中：

强电解质 NH_4Cl 完全电离：
$$\text{NH}_4\text{Cl} \longrightarrow \text{NH}_4^+ + \text{Cl}^-$$

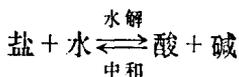
水微弱电离为 H^+ 离子和 OH^- 离子：
$$\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{OH}^- + \text{H}^+$$

NH_4^+ 离子和 OH^- 离子结合成弱电解质水合氨分子：
$$\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$$

由于 OH^- 离子与 NH_4^+ 离子生成弱电解质水合氨分子，所以，溶液中 OH^- 离子就减少了，破坏了水的电离平衡，水就继续电离为 H^+ 离子和 OH^- 离子，直到再建立起新的平衡。随着水合氨分子的不断生成， OH^- 离子不断被束缚在水合氨分子中，溶液中 H^+ 离子的数目就逐渐增加，这时溶液中 H^+ 离子浓度大于 OH^- 离子浓度，溶液呈酸性。其离子方程式为：



由上可以看出：盐的水解反应是中和反应的逆反应，即：

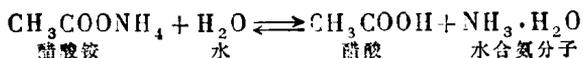


这种反应，是由于组成盐的离子，与水电离出的 H^+ 离子或 OH^- 离子结合，生成了弱酸或弱碱而引起的。这时水的电离平衡被破坏， OH^- 离子或 H^+ 离子的浓度发生了变化，不再相等了，因而使溶液呈碱性或酸性。

水解反应一般较弱，因水解反应生成的酸和碱发生中和反应，阻碍水解反应继续进行到底，直到水解反应和中和反应达平衡时为止。

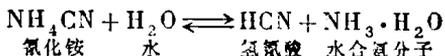
三、弱酸、弱碱所生成的盐，水解后溶液呈酸性、碱性或中性，决定于所生成的酸和碱的相对强度。

【例 1】醋酸铵 ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) 在溶液中水解的反应可用下式表示：



醋酸铵水解生成醋酸和水合氨分子($\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)。参看表7—1可知醋酸和 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的电离度相同，因此可以推知，溶液应呈中性。实验证实了这一点。

【例2】氰化铵(NH_4CN)在溶液中水解的反应可用下式表示：



氰化铵水解生成氢氰酸和 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 。参看表7—1，可知氢氰酸的电离度比 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的电离度小，因此溶液中大部分 H^+ 离子都被 HCN 分子束缚住了。溶液中 OH^- 离子比 H^+ 离子多，因此溶液呈碱性。

综上所述，由于水解的缘故，弱酸强碱所生成的盐在溶液中呈碱性；强酸弱碱所生成的盐在溶液中呈酸性；弱酸弱碱所生成的盐在溶液中呈酸性、碱性或中性，则决定于酸、碱的相对强度，酸稍强则呈酸性，碱稍强则呈碱性，如彼此相差很少，则接近于中性。

强酸和强碱生成的盐，不发生水解作用。例如，由氢氧化钠和盐酸反应生成的氯化钠，溶解于水中电离成 Na^+ 离子和 Cl^- 离子。 Na^+ 离子不与水电离出的 OH^- 离子结合， Cl^- 离子不与 H^+ 离子结合，因此，在溶液中 H^+ 离子和 OH^- 离子的浓度仍然相等，所以氯化钠溶液呈中性。

盐类的水解，在工农业生产和日常生活中有着广泛的应用。例如纯碱(Na_2CO_3)溶液呈碱性，通常用它洗涤衣物除去油垢；经常使用硫酸铵、氯化铵等肥料能使土壤酸性增加，所有这些都与盐的水解有关。

应该指出：大多数金属的氯化物能与水发生水解作用。
例如氯化亚锡(SnCl_2)的水解：



由于水解产生溶解度很小的碱式氯化亚锡，所以在配制氯化亚锡溶液时，首先要加入适量的酸以抑制其水解，否则配制的溶液将发生混浊。

习 题

1. 说明盐类水解的实质，举例说明几种类型盐的水解情况。
2. 指出下列物质的水溶液呈酸性、碱性还是中性？
 Na_2CO_3 ； KCl ； NH_4CN ； NH_4Cl ； $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ；
 CH_3COONa ； SnCl_2 ； FeCl_3 ； $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 。
3. 说明盐类水解在生产中的应用。

第六节 电 解

学习要求：

1. 掌握电解的原理。
2. 了解电解在工业上的应用。

一、电解的原理

在讲述电解原理以前，先让我们观察下面的实验：

在氯化铜的溶液里，插入两根石墨（能导电）作电极，接通直流电源（见图7—6）。不久，就能看到，连接电源负极的电极上，有一层铜覆盖在它的表面；在连接电源正极的

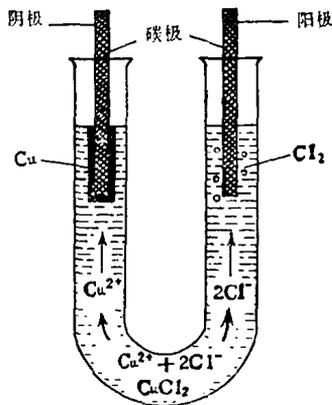
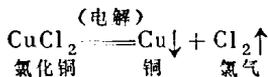


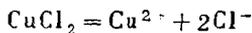
图 7-6 电解氯化铜

电极四周，有气泡放出，从它的气味可以知道是氯气。由此可见，当电流通过氯化铜溶液的时候，氯化铜就分解成为铜和氯气，这可用下面的化学方程式来表示：



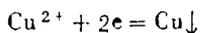
我们把电解质受电流作用而发生化学反应的过程，叫做电解。这种借助于电流而引起化学反应的装置，叫做电解池或电解槽。电解池中，和电源负极相连接的那个电极叫做阴极，和电源正极相连接的那个电极叫做阳极。电子从阴极进入电解池，从阳极离开。

根据电离理论，可以很好地解释电解现象。我们知道，当氯化铜溶解于水后，就电离成带正电荷的 Cu^{2+} 离子和带负电荷的 Cl^- 离子：



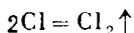
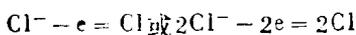
当溶液里插入电极并连接直流电源时，自由运动着的

正、负离子受到电流的作用，就分别向阴、阳极移动：带正电的 Cu^{2+} 离子趋向阴极，带负电的 Cl^- 离子趋向阳极，当 Cu^{2+} 离子接触到阴极的时候，就从阴极上得到电子，变成不显电性的铜原子，也就是铜离子被还原成金属铜：



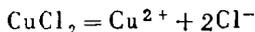
生成的铜沉积成薄层，覆盖在阴极（石墨电极）的表面上。

另一方面，当带负电的 Cl^- 离子接触到阳极的时候，就失去了它们多余的电子，这些电子转移到阳极上，结果 Cl^- 离子也变成了不显电性的原子，也就是氯离子被氧化成氯原子，两个氯原子再结合成分子，形成氯气，从阳极四周放出：

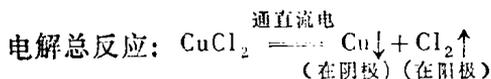
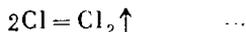
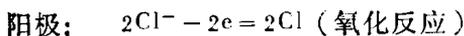
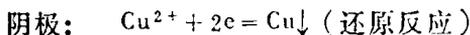


综上所述，氯化铜溶液的电解过程，可以用下式表示：

通电前，氯化铜在水溶液中电离：



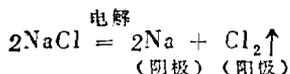
通电后，



由此可见，电解过程的实质，就是在电解质溶液中通入电流，在电极上分别进行氧化与还原反应，从而在电极上析出或沉积氧化产物与还原产物的过程。

一切电解质的水溶液，或是电解质在熔融状态下，通电

时都可发生电解。例如，电解熔融的氯化钠，就可在阴极上得到金属钠，在阳极上得到氯气：



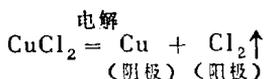
工业上常用这种方法制取金属钠。

应当注意，在用电解质的水溶液进行电解时，在阴极发生还原反应的不一定是电解质的正离子，在阳极发生氧化反应的也不一定是电解质的负离子。因为，在电解质水溶液中，除有电解质电离出来的正、负离子外，还有水分子电离出来的 H^+ 离子和 OH^- 离子。这样，在阴极上就有两种正离子（电解质的正离子和 H^+ 离子）取得电子的可能；在阳极上也有两种负离子（电解质的负离子和 OH^- 离子）失去电子的可能，因而也就增加了电解过程的复杂性。

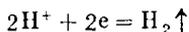
究竟在阴极上何种正离子放电（正离子在阴极上和电子结合，又叫正离子放电），在阳极上何种负离子放电（负离子在阳极给出电子，又叫负离子放电），既决定于正、负离子的氧化还原性能（得、失电子的能力），同时也和它们的浓度以及所用电极的材料有关。只有将上述各方面的因素分析、综合后，才能判定在阴、阳极上是何种正、负离子放电①。

例如，对 CuCl_2 溶液电解时，综合上述因素后，阴极是 Cu^{2+} 离子放电能力大于 H^+ 离子，阳极是 Cl^- 离子放电能力大于 OH^- 离子，所以：

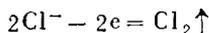
① 因这方面的理论较复杂，这里不再介绍，读者可参考有关的书籍。



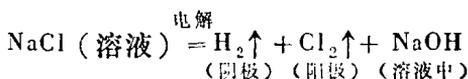
但在电解 NaCl 溶液时，综合上述因素后，在阴极是由水电离出的 H^+ 离子放电：



在阳极是 Cl^- 离子放电：



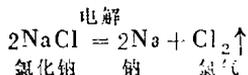
溶液中留有的 Na^+ 离子和 OH^- 离子，即为烧碱溶液。



二、电解在工业上的应用

电解在工业上应用很广，主要有以下几方面：

1. 用电解法制取化学性质活泼的金属。前面已提到，金属的化学性质越活泼，它的原子越容易失去电子而变成带正电的离子。因此，活泼金属的离子也就难于结合电子而被还原成金属。所以，工业上在制取钠、钾、镁、铝等活泼金属的时候，不能用一般还原剂的方法，而是把它们盐、碱或氧化物先加热熔化，再用电解法制得的。例如，电解熔融的氯化钠，就可制得金属钠：



2. 用电解法制取重要化工原料。前面已介绍，在电解氯化钠水溶液时，阴极上放出 H_2 ，阳极上放出 Cl_2 ，溶液中含有 OH^- 离子和 Na^+ 离子，即为烧碱溶液。烧碱、氢气、氯气和由氢气氯气制成的盐酸，都是重要化工原料。

3. 用电解法精制金属。例如，工业上用电解法精制铜

时，将含有杂质的粗铜做成厚板作为阳极，将薄纯铜片作为阴极，用硫酸铜（ CuSO_4 ）溶液做电解液。电解时，溶液中的 Cu^{2+} 离子从阴极上取得电子变成金属铜，生成的铜就沉积在阴极上。

阴极： $\text{Cu}^{2+} + 2e = \text{Cu}\downarrow$ （沉积在阴极上）

在阳极，由于用铜作电极，此时铜原子失去电子变成 Cu^{2+} 离子的能力，要大于溶液中 SO_4^{2-} 离子（由 CuSO_4 电离产生）或 OH^- 离子（由 H_2O 电离产生）失去电子的能力，所以在阳极是金属铜失去电子生成的 Cu^{2+} 离子进入溶液，即

阳极： $\text{Cu} - 2e = \text{Cu}^{2+}$ （进入溶液）

通过电解法精制，从阴极上析出的精铜纯度可达99.9%以上，它是电力工业上的重要材料。

4. 电镀。应用电解的原理，把一种金属镀在另一种金属表面上的方法，叫做电镀。电镀的目的是为了防止金属制品的腐蚀，并使其美观，有时也为了增强金属制品的表面硬度。工业上，常将银、锌、镍、铬等金属镀在另一种金属表面上。

与上述用电解法精制金属的道理相同，电镀时，把金属镀件作为阴极，把所要镀的金属作为阳极，用含有要镀金属的离子的溶液作为电解液（又叫电镀液）。连接直流电源，溶液里的金属正离子就趋向阴极，在阴极上获得电子，成为金属薄层，覆盖在金属镀件的表面上。同时，阳极的金属原子不断地失去电子变成离子，补充到溶液里去。

例如，要在铁制镀件上镀锌，可按图7—7装置。在玻璃水槽中盛有硫酸锌电镀液（内有硫酸锌和适量硫酸），用锌板做阳极，已经去锈的铁镀件做阴极，连接直流电源，稍

停片刻，镀件表面上即镀上一层锌。电镀时的阴、阳极反应为：

阴极（镀件上）： $Zn^{2+} + 2e = Zn$ （覆盖在镀件上）

阳极（锌板上）： $Zn - 2e = Zn^{2+}$ （进入电镀液中）

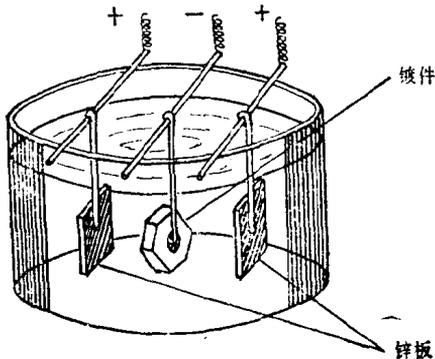


图7-7 电 镀 锌

习 题

1. 什么叫做电解？电解和电离有什么区别？

2. 如何命名电解池的阴、阳极？电解时，哪个电极上发生还原反应，哪个电极上发生氧化反应，为什么？

3. 电解氯化铜溶液时，已知由阳极放出 448 毫升氯气（在标准状况下），问在阴极应析出铜多少克？

（答：1.271克）

4. 电解在工业上主要有哪些方面的应用？

5. 什么叫做电镀？电镀有何用途？

6. 电镀时，为什么必须把镀件连接在阴极，而把要镀在镀件上的金属作为阳极？

第八章 元素周期表

第一节 元素周期律

学习要求:

认识元素周期律的意义。

经过长期的生产斗争和科学实验，人们对于自然界中各种元素的共同本质有了较深刻的认识，找出了其内在的规律。为了说明这个规律，我们从原子量最小的氢元素开始，按原子量增加的顺序，首先着重讨论氢（H原子量1.008）和氦（He原子量4.003）以后的16种元素的性质。

锂（Li原子量6.941）在空气中燃烧与氧生成氧化锂（ Li_2O ），为一价金属。锂和水反应，生成氢氧化锂（ LiOH ）。

铍（Be原子量9.012）在空气中加热燃烧与氧生成氧化铍（ BeO ），为二价金属。氢氧化铍〔 $\text{Be}(\text{OH})_2$ 〕是两性，它既能和酸作用，又能和碱作用，很难溶于水，金属性铍比锂弱。

硼（B原子量10.81）为非金属，在自然界中主要以硼酸（ H_3BO_3 ）及各种硼酸盐状态存在。硼砂（ $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ）是硼酸盐中人们最熟悉的。

碳（C原子量12.01）为非金属，与氧生成二氧化碳，

溶于水生成碳酸 (H_2CO_3 是一种弱酸)。

氮 (N原子量14.01) 为典型的非金属, 与氧生成的最高价 (+5价) 氧化物五氧化二氮 (N_2O_5 又叫硝酐), 溶于水生成硝酸. 氮气又能和氢气化合成氨 (NH_3), 在这个化合物中氮为 -3价。

氧 (O原子量16.00) 为一种典型非金属, 常显 -2价。

氟 (F原子量19.00) 为最活泼的非金属, 和氢化合成氟化氢 (HF), 在这个化合物中氟是 -1价。

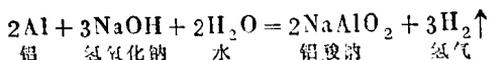
从上面列举的七个元素的性质可以看出, 按照原子量由小到大排列的这些元素中, 金属性以锂为最强, 随后从一种元素到另一种元素, 金属性质逐渐减弱, 非金属性逐渐加强, 到氟为最强. 按此规律, 在氟以后应当出现非金属性更强的元素, 但事实上并没有这种元素. 氟以后的元素却是化学性质不活泼的氩。

氖 (Ne原子量20.18) 为惰性气体。

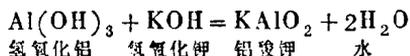
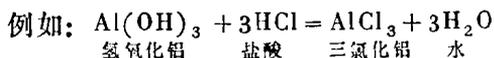
钠 (Na原子量22.99) 为一价金属, 在过量氧中燃烧生成过氧化钠 (Na_2O_2)。用钠还原过氧化钠可制得氧化钠 (Na_2O)。钠和水反应生成强碱氢氧化钠。

镁 (Mg原子量24.31) 为二价金属, 在空气中点燃镁条, 镁与氧生成氧化镁 (MgO)。和铍相似, 氢氧化镁 [$\text{Mg}(\text{OH})_2$] 也很难溶于水. 氢氧化镁是中强的碱。

铝 (Al原子量26.98) 为三价金属, 与氧生成三氧化二铝 (Al_2O_3)。并放出大量的热. 常温下铝也能和空气里的氧化合, 在铝表面上生成一层紧密的氧化铝薄膜, 保护内部的铝不再受氧化. 铝是两性元素: $2\text{Al} + 6\text{HCl} = 2\text{AlCl}_3 + 3\text{H}_2\uparrow$
铝 盐酸 氯化铝 氢气



氢氧化铝 $[\text{Al}(\text{OH})_3]$ 是很弱的碱，作为碱它与各种酸反应生成盐。它又能和强碱作用生成铝酸盐。



象氢氧化铝这样，既能和酸起反应生成盐和水，又能和碱反应生成盐和水的氢氧化物，叫做双性氢氧化物，这种现象叫做双性现象。

硅（Si原子量28.09）为非金属（有少许金属性），主要以二氧化硅（ SiO_2 ）或硅酸盐状态存在于自然界。

磷（P原子量30.97）为非金属，与氧生成最高价（+5价）氧化物五氧化二磷（ P_2O_5 又叫磷酐），溶于水生成磷酸（ H_3PO_4 ）。磷能和氢化合，生成很毒的磷化氢（ PH_3 ），在这个化合物中磷是-3价。这些性质和氮相似。

硫（S原子量32.06）为一种非金属，和氧相似。与氧生成的最高价氧化物为三氧化硫（ SO_3 ）。

氯（Cl原子量35.45）一种典型非金属，和氟相似。与氧生成的最高价氧化物为无色液体七氧化二氯 Cl_2O_7 。

氩（Ar原子量39.95）为惰性气体，与氦和氖相似。

我们把上面16种元素的氧化物及其对应的水化物的性质列成下表，以便比较。

金属性质增强		非金属性质增强							非金属性依此方向增强	
元素和它的原子量	Li 锂 6.941	Be 铍 9.012	B 硼 10.81	C 碳 12.01	N 氮 14.01	O 氧 16.00	F 氟 19.00	Ne 氖 20.18		
氧化物	Li ₂ O	BeO	B ₂ O ₃	CO ₂	N ₂ O ₅	—	—	—		
氧化物的对应水化物和它的酸碱性	LiOH 碱性	Be(OH) ₂ 两性	B(OH) ₃ 弱酸性	H ₂ CO ₃ 弱酸性	HNO ₃ 强酸性	—	—	—		
元素和它的原子量	Na 钠 22.99	Mg 镁 24.31	Al 铝 26.98	Si 硅 28.09	P 磷 30.97	S 硫 32.06	Cl 氯 35.45	Ar 氩 39.95		
氧化物	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl ₂ O ₇	—		
氧化物的对应水化物和它的酸碱性	NaOH 强碱性	Mg(OH) ₂ 碱性中强	Al(OH) ₃ 两性	H ₂ SiO ₃ 酸性弱	H ₃ PO ₄ 酸性中强	H ₂ SO ₄ 强酸性	HClO ₄ 酸性最强	—		
金属性质增强	非金属性质增强							非金属性依此方向增强		
金属性质增强		非金属性质增强							非金属性依此方向增强	

氧化物的水化物的碱性依此方向增强

氧化物的水化物的酸性依此方向增强

综上所述，随着元素原子量的增加，元素的性质和它们所生成的化合物的性质的变化，并不是在同一方向继续地变化着，而是有周期性的。所谓周期性，就是经过一定数目的元素后，性质上非常相似的元素又重新出现。

从上面16种元素的性质变化情况来看，由锂到氩的八个元素，是从活泼金属锂开始，到惰性气体氩结尾，这些元素及其化合物的性质，都随着原子量的递增，而呈现出明显的规律性变化。

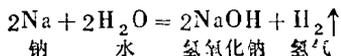
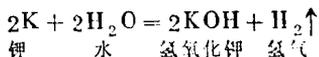
从钠到氩的八种元素，跟从锂到氩一样，也是从一种活泼金属开始，最末由一种惰性气体结尾，这些元素及其化合物的性质，都随着原子量的递增，而呈现上述规律性的变化。在氩以后的各元素的性质，同样地呈现周期性变化。例如氩以后是元素钾，而钾与钠有着相似的性质。

应该指出的是，这种周期性变化并不是简单的重复。这可以用钠和钾与水发生反应的情况来说明。

取一小烧杯，加入约半烧杯水，取豆粒大一小块新切开的金属钠，放在滤纸上吸去表面上的煤油（钠存放在煤油中）后，放入小烧杯的水面上，则能观察到钠呈球状，在水面上急速旋转，并有气体冒出，作用完毕后，在此水溶液中滴加酚酞指示剂两滴，溶液中呈显红色，说明溶液呈碱性。

同样取一小块新切开的钾代替钠，做上述实验，则能观察到钾在水的表面除旋转外，并有着火现象，同时有紫色火焰，溶液也呈碱性，作用时也有气体逸出。

从上面的实验可以看出，钾与钠有着与水作用的相似的性质，但钾跟水反应比钠更猛烈，所以，钾的活泼性比钠大。钾、钠与水反应的化学方程式为：



元素周期律是俄国化学家门捷列夫在总结前人经验的基础上于一八六九年总结出来的，即：元素和它们所形成的化合物的性质，随着原子量的增加而呈周期性的变化。这一规律反映了人类对于化学元素内在规律性的认识，它是自然发展总规律——量变到质变的规律——的光辉证明。

习 题

1. 什么叫元素性质的周期性？
2. 为什么说元素性质的周期性变化不是简单的重复？举例说明。
3. 什么叫元素周期律？说明元素周期律的重要意义。
4. 按原子量递增顺序，写出从钠到氯七个元素的最高氧化物，及其对应的水化物的分子式和名称。

第二节 元素周期表

学习要求：

掌握原子序、周期、族等的意义，并熟悉长式周期表。

我们把上述16种元素，依次地按照周期律排列起来，例如钠位于锂的下面，镁位于铍的下面，氩位于氖的下面等等，则可以得到元素的排列如下：

Li Be B C N O F Ne

Na Mg Al Si P S Cl Ar

在这样的排列中，我们可以看到，其性质相似，且具有同一化合价的元素，落到同一纵行内。例如氮(N)与磷(P)；氟(F)与氯(Cl)等等。

人们把所有元素，按照周期律依次地把它们重叠安排起来，使得性质相似的元素位于同一纵行内而组成一表，这个表叫做元素周期表。周期律的具体表现形式，就是各种类型的元素周期表。我们着重介绍长式元素周期表(见表8-1)。

下面我们对周期表作概括介绍。

一、原子序数

参看(表8-1)化学元素周期表(长式)，我们可以看到，在周期表中把每个元素都标上了元素符号、元素名称、原子量和原子核外的电子排布。此外，在元素符号上面还有一个数字，表示元素在表中的排列顺序，这个数叫做原子序数。例如：

原子序数	19	
元素符号	K	
元素名称	钾	1 — 第四层(又叫N层)或最外层有1个电子
		8 — 第三层(又叫M层)或次外层有8个电子
		8 — 第二层(又叫L层)有8个电子
原子量	39.098	2 — 第一层(又叫K层)有2个电子

二、在周期表中，有三对元素的排列和原子量增加的顺序不相符合

我们按照元素和它们的化合物的性质，随着原子量的增加而呈周期性的变化的规律，排列成周期表时，发现在周期表(参表8-1)中，有三对元素的排列和原子量增加的顺序

序不相符合.它们是: 氩(39.948)排在钾(39.102)的前面; 钴(58.9332)排在镍(58.71)的前面; 碲(127.60)排在碘(126.9045)的前面.这是根据它们的化学性质而把它们颠倒的.根据现代原子结构的观点,这些在顺序上的颠倒却是正确的,这一点在后面我们会讲到.

三、周期表一般介绍(参表8-1)

1. 周期

(1) 周期的划分 把元素按照周期律依次地排列起来,结果发现,除前面两个元素氢和氦以外,其余的都是以一价的碱金属元素(由于钠和钾的氢氧化物易溶于水且呈碱性,很早就被称为“碱”,所以把同一纵行内的锂、钠、钾、铷、铯、钫总称碱金属元素)开始,到零价的惰性气体为止,然后再出现与开始元素性质相似的元素.我们把每个由碱金属开始到惰性气体为止的一横列元素叫做一个周期.氢和氦也叫做一个周期.在周期表中共有七个周期,每个周期的起止元素,和每个周期中包括的元素个数为:

第一周期: 由氢(H)—氦(He) 共两个元素(短周期)

第二周期: 由锂(Li)—氖(Ne) 共八个元素(短周期)

第三周期: 由钠(Na)—氩(Ar) 共八个元素(短周期)

第四周期: 由钾(K)—氪(Kr) 共十八个元素(长周期)

第五周期: 由铷(Rb)—氙(Xe) 共十八个元素(长周期)

第六周期: 由铯(Cs)—氡(Rn) 共三十二个元素(长周期)

第七周期: 由钫(Fr)—现在已发现二十一个元素(长周期)

(2) 短周期和长周期 第一、二、三各周期中包括的元素数目较少,叫做短周期.第四、五、六、七周期叫做长周期,其中第七周期尚未完全,又叫做不完全周期.

2. 族

(1) 族的划分 元素周期表中排在纵行的元素叫做族。共分九个族，即 I—VIII 族和零族。其中 I—VIII 族又分为主族和副族。

(2) 主族和副族 由短周期元素和长周期元素共同构成的族，叫做主族。周期表中共有七个主族，习惯上把 I—VII 主族依次叫做碱金属^①、碱土金属、硼族、碳族、氮族、氧族和卤族（或卤素）。主族元素中有金属及非金属，同一主族元素的性质很相似，变化很有规律。

完全由长周期元素构成的族叫做副族。副族都是金属，同一副族元素的性质也相似，但变化不如主族规律。主、副族在长式周期表中的上面一行中，分别用 I A、II A……I B、II B 等标出（A 代表主族，B 代表副族）。

第 VIII 族包括九个元素，称为过渡元素^②。

零族是惰性气体。

3. 镧系元素和锕系元素

镧系元素是指第六周期中从原子序数 57（镧）—71（镱）的十五个元素，这些元素的性质非常相近，统称镧系元素^③。在周期表中以镧为代表把它们排在一个位置上，另外，把这十五个元素排在周期表的下方。同样情况，在第七周期中从原子序数 89（锕）—103（铷）的十五个元素，性质相似，统

① 氢元素除外。

② 过渡元素有狭义和广义两种说法，本书采用的是狭义说法，副族元素和第 VIII 族元素广义地统称为过渡元素。

③ 有的书上把镧以外的十四种元素叫做镧系元素。

称镧系元素①。在周期表中以镧为代表，把它们排在一个位置上，另外，把这十五个元素排在周期表下方的第二个横排上。

综上所述：（参看表 8—1）元素周期表（长式），从横的方面看共分七个周期；其中一至三是短周期，四至七是长周期。短周期中的第一周期只有氢和氦两个元素；第二和第三周期各由八个元素构成。长周期中的第四和第五周期各包括十八个元素；第六周期包括三十二个元素；第七周期则尚未完全。在长周期中，只有经过十八或三十二个元素，才能达到元素性质的周期性的循环，这是与短周期所不同的地方。此外，在长周期中部各有三个性质相似的元素（第Ⅲ族）把长周期分为两半——前半周期和后半周期，这也是短周期所没有的。第六周期最明显的特征，是包括有十五个性质非常相似的镧系元素。同样，第七周期中包括有镧系元素。除第一周期从氢开始外，各周期都以碱金属开始，以惰性气体为结尾。

从纵的方面看，周期表共分九个族，其中零族是惰性气体，第Ⅲ族包括三个三元素组，是由九个属于长周期中部的元素所组成的。每族（除零族和第Ⅲ族外）又各分为两族，分别叫做主族和副族，各成一个小纵行。与短周期元素同排在一小纵行的元素是主族元素，其它则为副族元素。

长式周期表的特点是每一周期只成一横行。纵的方面是主、副族分开排列。第Ⅰ、Ⅱ主族排在表的左边，第Ⅲ—Ⅵ主族和零族排在表的右部，副族和第Ⅶ族都在表的中部。长

① 有的书上把镧以外的十四种元素叫做镧系元素。

式周期表的优点，主要在于金属和非金属区分明显；金属性最强的元素占周期表的左下方，非金属性最强的元素占周期表的右上方（氟非金属性最强）。此外，长式周期表还可以更好地表示原子内电子的排布与周期律的关系。

习 题

1. 参看表 8—1 指出下列元素在周期表里的位置中，各符号所代表的意义。

11	
Na	
钠	1
	8
22.9898	2

2. 什么叫周期？什么叫长周期和短周期？元素周期表中共有几个长周期和几个短周期？它们有什么不同？
3. 什么叫族？什么叫主族和副族？元素周期表中共分哪几个族？
4. 什么叫镧系元素、锕系元素、过渡元素和碱金属元素？

第三节 原子结构与周期律

学习要求：

1. 认识元素周期律的现代说法。
2. 掌握原子序数与核电荷；周期号数与电子层数之间的关系。

随着原子结构理论的发展，揭露了元素周期表的内在实

质.下面我们根据原子结构观点进一步说明元素周期律.

一、从近代原子结构观点认识元素周期律

1.元素的原子序数等于该元素原子的核电荷数 我们知道,一个元素的原子中,核电荷数与核外电子数相等.假如我们从核电荷为1的氢开始,按照各元素核电荷数依次增加的顺序排列起来,排列的结果,我们得到一个与元素周期表中元素次序完全一致的排列.因此,元素周期表中每一个元素的原子序数,恰好等于该元素原子中的核电荷数,也等于原子核外的电子数.

2.按原子序数增加的顺序排列,消除了按照原子量增加的顺序排列时所发生的矛盾.前面曾经指出,有三对元素(氦和钾;钴和镍;碲和碘)的排列和原子量增加的顺序不相符合.例如,钾(39.102)比氦(39.948)的原子量小,根据原子量的排列,似乎钾应排在氦的前面,当时按它们的性质来看,把它们颠倒过来,把钾排在氦的后面.现在从核电荷来看,这种颠倒是正确的,因为钾的核电荷为19,而氦的核电荷为18,所以按核电荷排列,钾应该排在氦的后面.钴和镍、碲和碘的情况也是一样.

3.元素周期律的现代说法 由上看出,原子序数或核电荷数是比原子量更具有根本意义的数字,所以,根据原子结构观点,元素周期律可改述为:元素和它们所形成的化合物的性质,随着它们原子的核电荷数(原子序数)的增加而呈周期性的变化.

二、元素在周期表中所处的周期号数等于该元素的原子的电子层数.

参看表8—1元素周期表(长式)中,各元素的原子的

电子层结构，可以看出，同一周期中的元素的原子都有相同的电子层数，且此电子层数与该元素所处的周期号数相等。例如，第一、二、三周期中元素的原子的电子层结构如下所示：

	族 I A	II A	III A	IV A	V A	VI A	VII A	0
第 1 周期	1H ₁							2He ₂
第 2 周期	3Li ₂ ¹	4Be ₂ ²	5B ₂ ³	6C ₂ ⁴	7N ₂ ⁵	8O ₂ ⁶	9F ₂ ⁷	10Ne ₂ ⁸
第 3 周期	11Na ₂ ¹	12Mg ₂ ²	13Al ₂ ³	14Si ₂ ⁴	15P ₂ ⁵	16S ₂ ⁶	17Cl ₂ ⁷	18Ar ₂ ⁸

由上看出，第一周期的元素的原子，有一个电子层；第二周期的元素的原子，有二个电子层；第三周期的元素的原子，有三个电子层；其余依此类推。所以，元素在周期表中所处的周期号数，等于该元素的原子的电子层数。

三、从元素周期表中可以看出，每一周期从第 I 主族元素开始，出现一个新电子层，这个电子层到具有八个电子（氦是两个电子），形成稳定的惰性气体原子所特有的电子层结构时结束。从周期表里每一周期中的各主族元素亦可以看出，当原子的核电荷依次增多时，电子依次增加在原子的最外电子层上，在原子的最外电子层上经常重复着由一个到八个的电子排布，由此得知，元素性质的周期性变化，正是由于周期性地重复着相同的电子排布（主要是指最外电子层电子）的结果。这样就解释了元素性质随着原子序数的增加而呈周期性变化的原因。

习 题

1. 什么叫元素的原子序数？
2. 元素的原子序数与其原子结构有什么关系？

3. 根据原子结构观点说明元素周期律。
4. 为什么说元素的原子序数是比较原子量更具有根本意义的数字？
5. 根据主族元素最外电子层上的电子排布，说明元素性质呈周期性变化的原因。
6. 举例说明元素在周期表中所处的周期号数与元素的原子核外的电子层数的关系。

第四节 元素周期表内元素性质的递变规律

学习要求：

1. 掌握元素的化合价与元素的原子结构的关系。
2. 掌握元素金属性和非金属性的递变规律。

元素性质的变化是直接和元素的原子内部结构有关系的。在了解了原子结构与周期律的关系以后，我们再进行一步讨论元素周期表内元素性质的递变规律。

一、元素的化合价与元素原子的电子层结构的关系

1. 零族元素的化合价是零。因为零族元素（惰性气体）的原子，最外层有八个电子（氦有二个），成为稳定的结构，它们不易生成化合物，这类元素的化合价是零。

2. 第Ⅰ—Ⅵ主族元素的最高化合价（分别为+1、+2、+3、+4、+5、+6、+7^①），等于该元素在周期表中所处的族号数，等于该元素的原子最外层的电子数。第Ⅰ—Ⅵ

^① 氧的化合价没有+6，氟只有-1价，化合价为+7的溴的化合物尚未发现。

主族元素的原子的最外层的电子,在起化学反应时,都是可能失去的电子,当它们(除氢)失去这些电子后,次外层是二个、八个或十八个电子,这些次外层的电子都不参与化学反应.例如,参看表 8-1 可知,第 I 主族元素原子的最外电子层上只有一个电子,失去一个电子最高化合价为 +1,如氧化钠 ($\text{Na}_2\overset{+1}{\text{O}}\overset{-2}{\text{O}}$);又如第 VII 主族元素原子的最外电子层上有七个电子,失去这七个电子,最高化合价为 +7,如七氧化二氯 ($\text{Cl}_2\overset{+7}{\text{O}}\overset{-2}{\text{O}}$).

3. 第 IV—VII 主族的非金属元素,还有负化合价,它们的最低化合价分别为 -4、-3、-2、-1. 因为非金属元素的最高化合价等于该元素原子所失去的最外层上的全部电子数,而最低化合价,则等于该元素原子补到它的最外层电子数达八个电子时,所应得到的电子数. 显然,这两种化合价的数值之和应该是八. 例如,原子序数为 17 的氯元素,氯原子的最外电子层上有七个电子,它的最高化合价为 +7,它的最低化合价为 -1,因为它得到一个电子就使最外层达到了八个电子的稳定结构,显然两种化合价的数值之和是 8.

4. 第 III—VII 副族元素也具有与其族号数相等的最高化合价.

在长周期的副族元素的原子中,随着元素的原子序数的增加,电子逐步进入次外层,例如,原子序数为 20 的主族元素钙,它的电子层结构为 Ca_2^2 ,在它后面的为 21 号副族元素钪,钪比钙多一个电子,这个电子增于次外层,所以钪的电子层结构为 Sc_2^2 ,又如原子序数为 22 的副族元素钛,它比钪多一个电子,这个电子增于次外层,钛的电子层结构为 Ti_2^2 . 次外层的电子数继续增加,直到增加到十八个电子为止(参表

8-1 第 I 副族)。由此可以看出, 第 III 至 VIII 副族元素原子的最外层只有 1~2 个电子, 次外层却有多于八个, 少于十八个的电子; 当发生化学反应时, 它们除了能失去最外层的电子外, 还可以失去一部分次外层的电子(即多于八个少于十八个的电子), 使该层剩余八个电子达到稳定结构。所以这些元素也具有与其族号数相等的最高化合价。这就是说, III-VIII 副族元素的最高化合价, 等于该元素所处的族号数, 等于该元素原子最外层的电子数加上次外层上比十八少比八个多着的电子数。例如第 III 副族的元素钪 Sc_{2}^{2} 。它的最高化合价为 +3, 因为它的最外层的二个电子和次外层的一个电子(次外层有九个电子, 这九个电子比十八个少, 比八个多着的电子数为 1)都能失去。但这个规则不能完全适用于第 VIII 族元素。因为第 VIII 族里只有钌(Ru)和铑(Os)有最高化合价 8。

5. 在元素的最高化合价和最低化合价之间, 有些元素还能呈现各种不同的化合价。表 8-2 和表 8-3 分别列出了一些重要的主族元素和副族元素的主要化合价。

表 8-2 一些重要的主族元素的主要化合价

族	I	II	III	IV				
元素名称及符号	锂 钠 钾 铷 铯 Li Na K Rb Cs	铍 镁 钙 锶 钡 Be Mg Ca Sr Ba	硼 铝 B Al	碳 C	硅 Si	锗 Ge	锡 Sn	铅 Pb
主要化合价	+1	+2	+3	-4 +2 +4	+4	+2 +4	+2 +4	+2 +4

族	V					VI				VII			
元素名称及符号	氮 N	磷 P	砷 As	锑 Sb	铋 Bi	氧 O	硫 S	硒 Se	碲 Te	氟 F	氯 Cl	溴 Br	碘 I
主要化合价	-3	-3				-1				-1	-1	-1	-1
	+1					-2	-2	-2		+1	+1	+1	+1
	+2						+4	+4	+4	+3	+3	+3	+3
	+3	+3	+3	+3	+3		+6	+6	+6	+5	+5	+5	+5
	+4									+7			+7
	+5	+5	+5	+5									

表8—3 一些重要的Ⅲ—Ⅶ副族及第Ⅷ族元素的主要化合价

族	Ⅲ	Ⅳ	V	Ⅵ			Ⅶ	Ⅷ					
元素名称及符号	铷 Sc	钛 Ti	钒 V	铬 Cr	钼 Mo	钨 W	锰 Mn	铁 Fe	钴 Co	镍 Ni	钯 Pd	铑 Os	铂 Pt
主要化合价	+3	+3	+3	+2	+4	+4	+2	+2	+2	+2	+2	+6	+2
		+4	+4	+3	+6	+5	+4	+3	+3	+3	+4	+8	+4
			+5	+6		+6	+7						

二、元素金属性和非金属性的递变

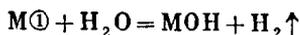
金属的原子容易失去电子变成正离子，非金属的原子则容易与电子结合生成负离子，元素的原子失去电子或与电子结合的难易，主要是决定于原子的核电荷的多少，原子半径（见图8—1）的大小，以及原子的电子层结构，特别是最外层的电子数目。

从图8—1可以看出，元素的原子半径也呈周期性的变化。同一周期内主族元素原子半径从左到右逐渐减小；同一主族内从上到下逐渐增大，副族元素的原子半径则相差不多。

甚至不是进入次外层,而是进入由外数起的第三个电子层),因此,在长周期前半部各元素的原子中,最外层电子不多于二个,因而这些元素表现出以金属为主的特性。这些元素的原子半径相差不大,失去电子的能力只依次略有变化,这也说明了为什么金属性质的减弱较缓慢。只有在长周期后半部,过了副族元素,各元素的原子中,最外层电子层上的电子数目,才和短周期的元素一样,依次逐一增加,原子半径也逐渐减小,这样金属性质逐渐减弱,非金属性质逐渐增强的变化才变得显著了。

由上得知,对元素的化学性质发生主要影响的是最外层的电子,次外层电子的影响就小得多。从镧系元素具有非常相似的性质,也说明了在外数第3电子层上的电子数目的变化,对于元素的化学性质只产生极微弱的影响。

3.在同一主族内,从上到下,元素的金属性质总是随着原子序数的增加而递增。这是因为,随着原子序数的增加,虽然核电荷是增加了,但同时原子中电子层的数目也随着增加,原子半径也就增大,结果是原子核对最外层电子的吸引逐渐减弱,原子失去这些电子的能力逐渐加大,因而金属性质也就逐渐增强。例如,碱金属都易和水反应,其反应式可用下式表示:



碱金属与水作用的情况是:锂在常温时能置换出水中的氢;钠和水的反应较剧烈;钾和水反应时放出大量的热,能使生成的氢气着火燃烧;铷与铯和水反应会引起爆炸。由此可见,

① 这里的 M 代表碱金属。

同一主族自上而下，金属性逐渐增强。再从第Ⅶ主族元素（氟、氯、溴、碘）与氢化合的能力来看，氟跟氢在暗处可直接化合；氯跟氢需在日光照射下才能发生反应；而溴、碘在高温下才跟氢化合。这说明氟的非金属性最强，从氟到碘非金属性逐渐减弱，也就是说金属性自上而下逐渐增强。

4. 副族元素都位于长周期的中部，它们最外层的电子数不多于2，原子半径也相差不多，因此，它们的性质很相似，都以容易失去电子（金属性）为特征。在同一副族内，从上到下各元素的性质的变化不很显著。

总之，同一周期的元素，从左到右金属性逐渐减弱，非金属性逐渐增强，同一主族的元素，从上到下金属性逐渐增强，非金属性逐渐减弱，副族元素都呈金属性，同一副族内金属性的变化不大。

习 题

1. 指出零族元素、各主族元素以及Ⅰ—Ⅶ副族元素，在起化学反应时最多能够失去的电子数？它们的最高化合价与其所处的族数有什么关系？

2. 非金属元素和氧化合时的最高化合价与和氢化合时的最低化合价的数值之和是8，为什么？

3. 说明同一短周期自左向右，元素金属性和非金属性的递变情况，并从原子结构观点加以解释。

4. 说明同一长周期自左向右，元素金属性和非金属性的递变，与同一短周期自左向右元素金属性和非金属性的递变有何异同？

5. 从原子结构观点说明，同一主族从上到下元素金属性和非金属性的递变情况。

6. 指出元素周期表中哪一种元素的金属性最强？哪一种元素的非

金属性最强？为什么？

7. 原子序数为7的氮，在元素周期表中位于第2周期第Ⅴ主族；原子序数为20的钙位于第4周期第Ⅱ主族，根据它们在元素周期表中的位置，判断它们的核电荷数是几？核外的电子层数是几？最外层上有几个电子？是金属还是非金属？

第五节 元素周期表内主族元素 氧化物性质的递变规律

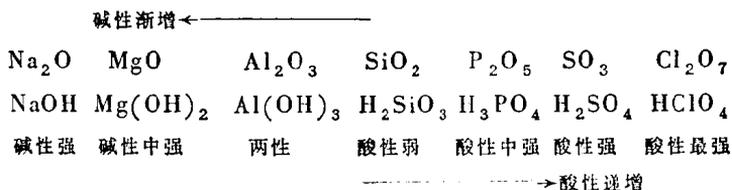
学习要求：

从氧化物性质的递变，说明同一周期的各主族元素及同一主族元素，金属性和非金属性的递变规律。

周期表内各主族元素都能生成氧化物。金属性强的元素的氧化物常为离子型的，在固态时为离子晶体，熔点较高，如氧化镁，熔点 2800°C ，可用来作耐高温材料，制耐火砖、耐火管等。非金属性强的元素的氧化物则为共价型的，如二氧化硫、二氧化氮和二氧化碳等。

元素的氧化物，有酸性氧化物，例如非金属的氧化物二氧化硫、五氧化二磷等；有碱性氧化物，例如第Ⅰ、Ⅱ主族元素（除氢）的氧化物（氧化铍为两性）氧化镁、氧化钙等；有两性氧化物，例如铝、锡、铅的氧化物等；此外还有惰性氧化物，这类氧化物不溶于水，也不与酸或碱作用，如一氧化碳、一氧化氮等。不仅氧化物有酸性、碱性和两性的，其对应的水化物也是这样。

在同一周期中各主族元素，自左向右最高价的氧化物及其水化物的酸性逐渐增强，碱性逐渐减弱，这反映了自左向右金属性渐减，非金属性渐增的趋向。例如，第3周期各元素最高化合价的氧化物及其水化物的酸碱性递变顺序如下：



同一主族自上而下，元素化合价相应的氧化物及其水化物的酸性一般地逐渐减弱，碱性则逐渐增强，这反映了非金属性递减，金属性递增的趋向。例如第V主族元素的+3价的氧化物。

	元素名称及 元素符号	氧化物	酸 碱 性
↓ 金属性依此方向增强	氮 N	N_2O_5	呈酸性
	磷 P	P_2O_5	呈酸性
	砷 As	As_2O_3	呈两性
	锑 Sb	Sb_2O_3	呈两性
	铋 Bi	Bi_2O_3	呈碱性
			↑ 非金属性依此方向增强

当同一种元素生成几种化合价不同的氧化物时，高化合价的氧化物的酸性比低化合价的要强；对于其对应的水化物来说，也是这样。例如， SO_3 和 H_2SO_4 的酸性分别比 SO_2 和 H_2SO_3 的强。

习 题

1. 根据元素在周期表里的位置, 说明 $\text{Sr}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 各种氢氧化物哪一种碱性最强? 为什么?
2. 根据元素在周期表里的位置, 说明 H_2SiO_3 、 HClO_4 、 H_2SO_4 、 H_3PO_4 各种酸中, 哪一种酸性最强? 为什么?

第六节 元素周期律的意义

学习要求:

认识元素周期律的重要意义。

元素周期律说明了元素间的内在联系和元素性质的变化规律, 成为进一步学习和研究科学的重要工具。

元素周期表的应用是多方面的, 下面仅就几个方面作简略介绍。

1. 预测新元素 在门捷列夫发表周期表时, 已知的仅有60多种元素, 他根据周期律, 在表里留下了好些空格, 并根据空格周围的元素的性质, 预言了未知元素的性质。后来分别发现了元素镓、铊、锗三种新元素, 它们的原子量和性质, 分别与门捷列夫所预言的元素性质很相近。后来, 在周期律指导下, 人们又合成了新元素。

2. 修改原子量 有些元素如铍、钛、铯、钍、铀等, 按当时测定的原子量不能在周期表里得到适当位置, 门捷列夫根据元素周期律, 判断这些元素的原子量是测定错了, 一一加以修改, 这些校正的原子量, 后来都得到了实验的证实。

3.探索新材料：根据现在长式周期表的排列，非金属（除氢）均集中在周期表的右上方，第Ⅰ主族元素尤其是铯，是光电材料。锗、硅等是半导体材料。第Ⅳ—Ⅶ副族元素是高熔点金属，铜系元素都是放射性物质（所谓放射性，就是物质能自发地放出不可见射线的性质，具有放射性的物质，叫做放射性物质）。由于各种不同性质的材料，在元素周期表中占有一定的区域，这就可以启发我们在周期表的一定区域里，寻求所需要的某种性质的新材料。

此外，在近代原子分子结构理论的发展中，在原子能^①利用方面，周期律都起着重大的指导作用。

元素周期律是从量变到质变这一规律的有力例证，它深刻地揭示了自然界物质的内在联系，它反映了物质世界的统一性和规律性。

元素周期律曾指导人们对元素和化合物的性质进行系统的研究，推动了现代物质结构理论的建立。

科学是在不断发展的，元素周期律也不例外。它不是绝对的，万能的，有许多问题还不能从周期律得到解释。人们对元素性质规律性的认识，还有待于进一步发展。

习 题

- 1.说明元素周期律的重要意义。
- 2.说明元素周期表的主要应用。

^① 原子能实际上指原子核能。由原子核反应所放出的能，叫做原子核能。

第九章 重要的非金属元素 及其化合物

非金属元素，除氢^①外都位于元素周期表的右上方，即阶梯形的粗线以上原子最外层的电子数，除硼外都在四个或四个以上。

第一节 卤素

学习要求：

1. 了解氯气的性质、制法和用途。
2. 掌握卤素的氧化性和卤素离子的还原性的递变规律。

元素周期表中第Ⅶ主族元素，氟(F)、氯(Cl)、溴(Br)、碘(I)、砹(At)统称卤族元素(简称卤素)。关于砹的性质研究得还很少，在此不作讨论。

表9—1列出了卤素的一些重要的物理性质。

卤素都是双原子分子。卤素的物理性质，随着原子序数的增加，有规律的变化。从表9—1看出，随着原子序数的增加，卤素的颜色加深，密度增大，熔点和沸点升高。

^① 也有把氢排在第Ⅶ主族的。

表 9—1 卤素的一些重要的物理性质①

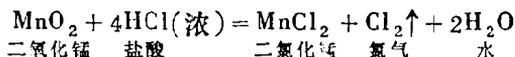
元素	原子序数	各电子层中的电子数目	分子式	在普通情况下		固体密度 克/立方厘米	熔点 °C	沸点 °C
				物态	颜色			
F	9	2,7	F ₂	气体	几乎无色, 厚层时淡黄色	1.3	-223	-187
Cl	17	2,8,7	Cl ₂	气体	黄绿色	1.9	-102	-34
Br	35	2,8,18,7	Br ₂	液体	暗红色	3.4	-7.3	53.73
I	53	2,8,18,18,7	I ₂	固体	暗灰色, 具有一些金属光泽	4.93	114	133

一、氯和氯化氢

氯是化学性质很活泼的非金属元素, 它在自然界中大都以氯化物的形态存在, 主要的氯化物有氯化钠。

1. 氯气的制法

工业上利用电解食盐饱和溶液制取氯气。在实验室里常用二氧化锰(MnO₂)和浓盐酸作用来制取氯气。其反应方程式为:



加浓盐酸于盛有数克二氧化锰的圆底烧瓶中(见图 9—1), 然后加热, 用向上排空气法②收集在集气瓶中, 当集气瓶中全部显黄绿色时, 表示瓶中已经收集满氯气, 多余的氯气用氢氧化钠溶液吸收。

在制取氯气的反应中, 二氧化锰是氧化剂。也可改用其它氧化剂如高锰酸钾(KMnO₄)等。

① 表中数据源自戴安邦等编著的《无机化学教程》上册。

② 因为氯气比空气重, 应用排空气法收集氯气时, 集气容器要正放, 叫做向上排空气法。

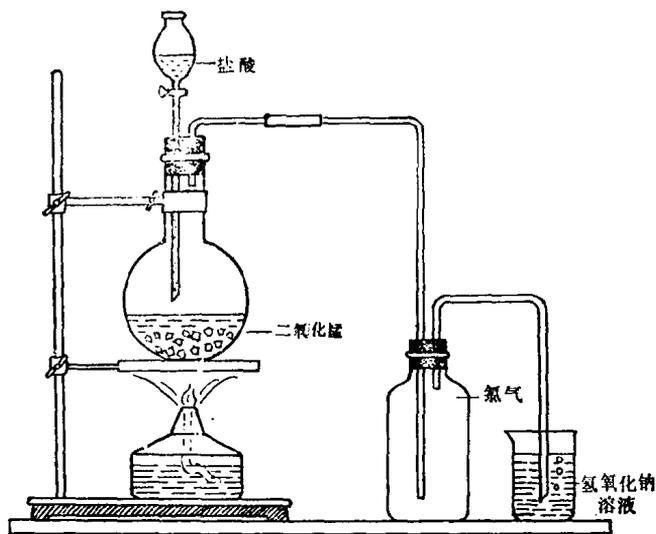
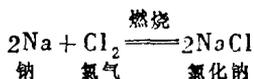


图 9—1 实验室制备氯气的装置

2. 氯气的性质和用途

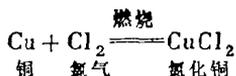
氯气是黄绿色有刺激性臭味的气体，有毒，比空气重2.5倍，易液化。液化后呈黄绿色油状液体，可装在液氯钢瓶中，以便运输和贮藏。

氯原子的最外电子层有七个电子，很易获得一个电子，因此氯是强氧化剂。氯气几乎可与所有金属以及大多数非金属作用生成氯化物。例如，金属钠加热后在氯气里燃烧，发生黄色火焰，并生成白烟，这白烟就是氯化钠微粒。



又如，铜丝加热后，在氯气里燃烧，产生棕黄色烟，这

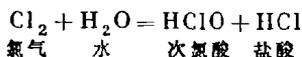
烟就是氯化铜微粒。



再如，在常温下（无光线照射）氯气和氢气的反应非常缓慢；如果点燃或受阳光直接照射，氯气和氢气的混和气体就会发生猛烈的爆炸，生成氯化氢。

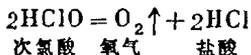


氯气溶解于水，其水溶液叫做氯水。在氯水中，氯分子和水分子反应生成次氯酸(HClO)及盐酸：



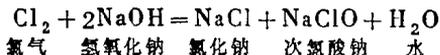
在这个反应中，一个氯原子得到电子，本身还原，另一个氯原子失去电子，本身氧化，这是一个自氧化还原反应。

次氯酸是弱酸，极不稳定，受光作用立即分解放出氧气：



次氯酸是强氧化剂，氯水能漂白就是因为有次氯酸生成的缘故。所以氯气①可用作漂白剂和消毒剂。

将氯气通入冷的碱溶液中，就生成氯化物及次氯酸盐：



次氯酸盐具有漂白性，常用的漂白粉，就是氯气与氢氧化钙作用的产物。其主要反应为：



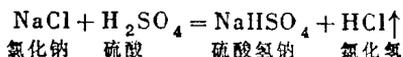
① 完全干燥的氯气不能对干燥的织物发生漂白作用。

漂白粉的有效成分是次氯酸钙，漂白粉的漂白能力主要取决于其中次氯酸钙的含量，含量高时漂白能力强。

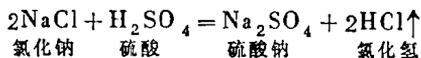
氯气在国民经济中的用途很广，可以用来制造六六六、滴滴涕以及盐酸、漂白粉等。自来水厂常用氯气消毒杀菌。

3. 氯化氢

工业上利用氢气在氯气中的燃烧作用直接合成氯化氢。在实验室中，用浓硫酸和固体食盐反应制取氯化氢。



在较高温度下则有下列反应发生：

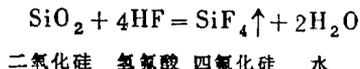


氯化氢是无色气体，有刺激性气味，它比空气重，极易溶于水，其水溶液叫做盐酸①。

二、氟、溴、碘

在通常状况下，氟（F₂）是淡黄色气体，有剧毒，比氯（Cl₂）、溴（Br₂）、碘（I₂）更容易和氢气、金属及多种非金属作用。氟（F₂）和氢气混合时，即使在暗处也会化合发生爆炸，同时放出大量的热，生成氟化氢（HF）。

氟化氢是一种有刺激性臭味的气体，易溶于水，其水溶液叫做氢氟酸。氢氟酸很稳定，有剧毒，碰到皮肤能引起有毒的“烫伤”。氢氟酸和玻璃中的二氧化硅（SiO₂）作用：



所以常用氢氟酸来腐蚀玻璃。

① 参看第四章第二节。

Br_2 在常温下，是一种暗红色的液体，容易挥发，具有刺激性气味，能腐蚀皮肤及喉鼻粘膜， Br_2 溶于水，其水溶液叫做溴水。

Br_2 和金属、非金属的反应与 Cl_2 相似，但不如 Cl_2 那样剧烈。

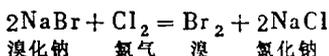
I_2 是暗灰色固体，具有金属光泽，在常温下 I_2 能升华成为紫色蒸气， I_2 微溶于水，易溶于酒精、四氯化碳等有机溶剂中。淀粉溶液遇到游离状态的碘就变蓝色，利用这种特性，可以检验碘和淀粉。

I_2 的化学性质与 Cl_2 和 Br_2 相似，但活泼性比 Br_2 还弱。

三、卤素的氧化性和卤素离子的还原性

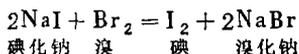
卤素都是强氧化剂，能夺取其它物质中的电子而使其氧化。 F_2 的氧化性最强，它可以使氯离子氧化，而 Cl_2 不能氧化氟离子。 Cl_2 只能从溴化物或碘化物中夺取电子，使它们氧化成 Br_2 和 I_2 。 Br_2 不能氧化氯离子及氟离子，只能氧化碘离子。

例如，取一只盛有溴化钠溶液的试管，加入少量四氯化碳 (CCl_4)，再加入少量氯水，振荡后可以看到四氯化碳层的颜色，由无色变成棕黄色，这是 Br_2 溶于四氯化碳的缘故。因为加入氯水后， Br^- 离子被氧化成 Br_2 ，而 Br_2 在四氯化碳中的溶解度大于在水中的溶解度，因此大部分 Br_2 进入到四氯化碳层中。

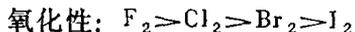


又如，在盛有碘化钠溶液的试管中，加入少量四氯化碳，再加入少量溴水，振荡后可以看到四氯化碳层中颜色由无色

变为紫色，这是 I_2 溶于四氯化碳的缘故，因为 I_2 在四氯化碳中的溶解度大于在水中的溶解度。



从以上实验可以看出，卤素的氧化能力，从氟到碘逐渐减小；卤素离子的还原能力，从氟离子到碘离子依次增大。



这是由于卤素的原子半径从氟到碘依次迅速增大，虽核电荷也有所增加，但其净结果是核对外层电子的吸引逐渐减弱，因而卤素得电子的能力也就依着从氟到碘的顺序递减。

上述性质可用于生产中，以 Cl_2 为氧化剂可以从海水中提取 Br_2 和 I_2 。

习 题

1. 说明氯气的性质和用途。
2. 用电子得失法配平二氧化锰和浓盐酸制取氯气的反应方程式。
3. 指出下列说法是否正确，并说明原因。
 - (1) 液态氯就是氯水。
 - (2) 氯化氢就是盐酸。
 - (3) Br_2 的水溶液是溴水。
 - (4) 氟化氢就是氢氟酸。
4. 氯水为什么可以做漂白剂？
5. 什么是漂白粉的有效成分？
6. 说明卤素氧化性和卤素离子还原性的递变规律，以及产生这种递变规律的原因。

7. 碘化钾溶液中加入淀粉溶液不显蓝色，如果再加入少量氯水，就立刻变蓝。试解释这种现象。若用溴水代替氯水，是否能得到同样的结果？并写出有关化学方程式。

8. 举例说明白氧化还原反应。

第二节 硫及其化合物

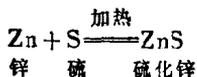
学习要求：

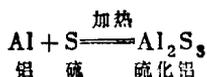
1. 了解硫、硫化氢和二氧化硫的性质。
2. 了解接触法制造硫酸的主要反应。

一、硫

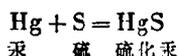
单质硫在常温时是一种淡黄色固体，通常叫做硫黄。不溶于水，易溶于二硫化碳（ CS_2 ）。

硫和氧同属元素周期表中的第Ⅵ主族元素，其原子最外电子层上都有六个电子，能获得两个电子而显-2价。硫不及氧活泼，氧气在常温时就能和某些金属或非金属化合，而硫必须在加热情况下，才能和金属或非金属化合。例如，分别加热硫粉和铁粉、锌粉、铝粉的混和物，就能产生金属硫化物：硫化亚铁、硫化锌和硫化铝（ Al_2S_3 ）。其反应方程式分别为：

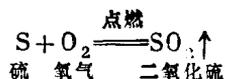




汞等不活泼金属也能跟硫直接化合。例如，常温下把汞和硫粉一起放进研钵里研磨，则生成硫化汞（HgS），其反应方程式为：



硫容易和氧气化合。硫在空气里点燃时，发出淡蓝色火焰，生成二氧化硫：



在普通条件下，硫和氢并不化合。仅在加热时，才发生以下可逆反应：



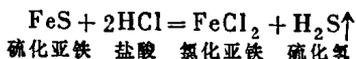
在约350°C时，这个平衡向右移动。当温度再升高时，反应向逆方向移动。

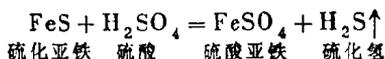
硫的用途很广。工业上用来制造硫酸、硫化橡胶、黑色火药、火柴等。农业上用作杀虫剂。

二、硫化氢

硫化氢（H₂S）是无色气体，有蛋类腐败的臭味，极毒，人吸入微量即头痛眩晕，吸入量多则有生命危险。如一旦中毒，纯净空气可以作为解毒剂，吸入少量的氯气也有效。

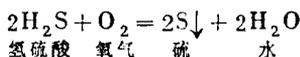
实验室中常用稀盐酸或稀硫酸分解硫化亚铁（FeS）制取硫化氢：





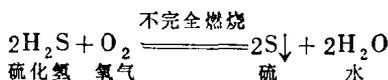
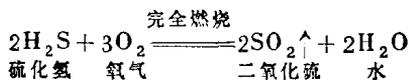
硫化氢能溶于水，在室温和一个大气压时，1 体积水约能溶解 3 体积硫化氢。硫化氢的水溶液叫做氢硫酸。

氢硫酸是强还原剂，在空气中逐渐被氧化而析出硫：

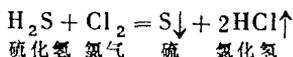


因此，硫化氢水溶液不能长久保存，因为空气中的氧使之逐渐氧化，有硫析出变混。

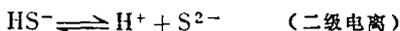
硫化氢气体在空气中燃烧，生成二氧化硫和水。若空气不足，则生成硫。



Cl_2 、 Br_2 和 I_2 容易被硫化氢还原成卤化氢，例如：



氢硫酸是一个弱酸，分两步电离：



因此它能生成正盐（硫化物），和酸式盐（酸式硫化物，如 NaHS ）。只有碱金属和碱土金属才能生成酸式硫化物；其余的金属只生成硫化物。

酸式硫化物溶解于水，而硫化物则不一定。按照溶解度的不同，硫化物可分三类：溶解于水的碱金属和碱土金属的硫化物（如 Na_2S 、 K_2S 、 BaS 等）；不溶于水而溶于稀盐酸的

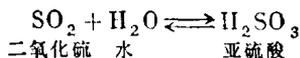
硫化锌 (ZnS)、硫化锰 (MnS) 等硫化物；既不溶于水又不溶于稀盐酸的硫化铜 (CuS) 等硫化物。利用硫化物溶解度的不同，可以用硫化氢把溶液中的各种金属离子分开。

三、二氧化硫

二氧化硫 (SO₂) 是比空气重的无色气体，具有强烈的刺激性气味。二氧化硫的毒性虽然不如硫化氢，但人吸入少量后，也会很快地感觉呼吸困难。

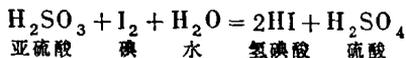
在二氧化硫中，硫的化合价为 +4，介于硫的最低化合价 -2 和最高化合价 +6 之间。因此，它既可作为氧化剂，又可作为还原剂，但它的还原性是主要的，例如，在硫酸工业中，二氧化硫在催化剂的作用下生成三氧化硫，就是二氧化硫还原性的表现。

二氧化硫易溶于水，在 20°C、一个大气压时，1 体积水能溶解约 40 体积的二氧化硫。在水中有一部分二氧化硫与水化合生成亚硫酸 (H₂SO₃)，因此二氧化硫又叫做亚硫酸酐。在二氧化硫的水溶液中存在着下列平衡：



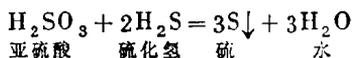
亚硫酸是很不稳定的化合物，它只能在水溶液中存在。

亚硫酸很容易被氧化，是一种很好的还原剂。例如，于 50 毫升蒸馏水中，加淀粉溶液 1 毫升，加入数滴碘水（此时溶液呈蓝色），再加入新配的二氧化硫水溶液，则见溶液蓝色褪去。其反应为：



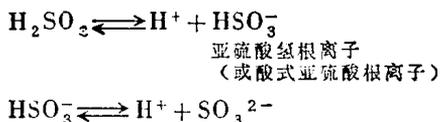
当通硫化氢于二氧化硫的水溶液中时，二氧化硫则被还

原，有硫析出。其反应为：



这说明亚硫酸又是一个氧化剂。但它的氧化性不大显著，只有和强还原剂（如 H_2S ）作用时，才能起氧化剂的作用。

亚硫酸是一个弱酸，分两步电离：

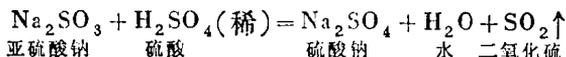


因此，亚硫酸能生成两种类型的盐：正盐（如亚硫酸钠 Na_2SO_3 ）和酸式盐（如亚硫酸氢钠 NaHSO_3 ）。

除碱金属和铵的亚硫酸盐外，几乎所有其它的亚硫酸盐都不溶于水。亚硫酸的盐类也是强还原剂。

二氧化硫大量用来生产硫酸，也用来消毒、漂白等。

在实验室里，通常用硫酸与亚硫酸盐反应来制取二氧化硫：



工业上常由燃烧黄铁矿(FeS_2)来制取二氧化硫：



四、接触法制硫酸

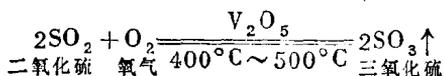
工业上制造硫酸的方法很多，我国主要采用接触法。下面介绍这一方法的主要生产过程：

1. 焙烧：焙烧黄铁矿（又称硫铁矿）制取二氧化硫，其主要反应为：

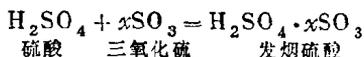


2. 净化: 焙烧产生的炉气中除二氧化硫、氧气、氮气外, 还有三氧化硫(SO_3)、三氧化二砷(As_2O_3)、二氧化硒(SeO_2) 和少量氟化氢, 并夹带有由铅、锌、铁的氧化物等所形成的矿尘。这些杂质的存在, 能使催化剂“中毒”, 腐蚀设备, 堵塞管道, 影响产品质量。因此, 在这一工序中, 要经过冷却、除尘、洗涤、除雾等过程使气体净化。

3. 转化: 净化后的二氧化硫在有催化剂五氧化二钒(V_2O_5) 存在下, 氧化成三氧化硫:



4. 吸收: 欲得到各种浓度的硫酸, 首先用浓硫酸(98%) 吸收三氧化硫, 得到发烟硫酸($\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot x\text{SO}_3$):



然后稀释发烟硫酸, 便得到各种浓度的硫酸。

习 题

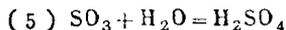
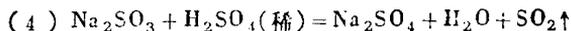
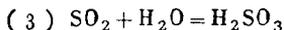
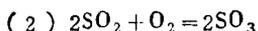
1. 现有铁、硫和盐酸三种物质, 问怎样利用这三种物质制取硫化氢? 写出反应方程式。

2. 什么是氢硫酸? 举例说明它是强的还原剂。

3. 为什么硫化氢水溶液不能长久保存?

4. 在下列反应中哪些是氧化还原反应? 并指出氧化还原反应中的氧化剂和还原剂。





5. 根据原子结构观点, 举例说明为什么亚硫酸既能作氧化剂又能作还原剂?

6. 写出用接触法制造硫酸的主要反应。

第三节 氮和磷的重要化合物

学习要求:

1. 了解氮的性质、制法和用途。
2. 了解磷的性质和磷酸盐的用途。

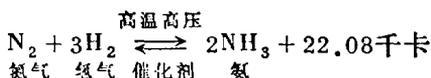
元素周期表中第Ⅴ主族元素氮(N)、磷(P)、砷(As)、锑(Sb)、铋(Bi)统称氮族元素。

氮族元素的原子最外电子层上都有五个电子, 它们获得电子的能力比同周期中的卤族元素、氧族元素要弱得多。从氮至铋, 随着核电荷数的增加, 非金属性逐渐减弱, 金属性逐渐增强。

氮族元素的主要化合价是 - 3 价和 + 5 价。

一、氮

氮(NH_3)是制造氮肥的重要原料, 工业上用氮气和氢气来合成氨。合成法制氨需要在高温、高压和催化剂(铁粉和少量氧化钾、氧化铝的混合物)的作用下, 使氮气和氢气化合而生成氨:

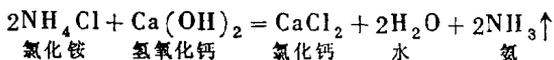


氨的合成是一个放热的、气体体积缩小的可逆反应。从化学平衡移动的原理可知，温度愈低、压力愈高，愈有利于氨的合成。

温度低虽有利于氨的合成，但温度太低，反应速度太慢，到达平衡时所需要的时间太长，工业上通常将温度适当提高到480~520°C，并使用催化剂来加快反应速度。

加大压力，既有利于平衡向生成氨的方向移动，同时由于压力增加，气体浓度增大，反应速度加快，因此，对于氨的合成反应来说，压力愈大愈好。但压力越高，对于设备材料的要求越高，目前生产上一般采用的压力为250~320个大气压（小型氮肥厂常采用120~150个大气压）。

实验室里是用强碱（一般为氢氧化钙）和铵盐（如NH₄Cl）反应制取氨：

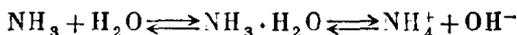


铵盐和碱的这个反应是一切铵盐的通性，可根据反应生成的氨的气味和它使湿的红色石蕊试纸变蓝的作用，检验铵盐的存在。

氨是一种无色气体，有强烈的刺激性臭味，比空气轻，易液化。氨在水中的溶解度大于所有其它气体。在20°C时，1体积的水能溶解约700体积的氨。氨的水溶液叫氨水。

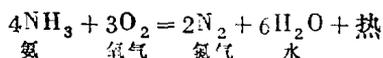
氨溶于水，大部分与水结合形成水合物。一水合氨NH₃·H₂O可认为是氨存在于溶液内的主要形式。氨水中并不含有氢氧化铵(NH₄OH)分子。现代认为氨水中存在着下列

平衡,而氨水显弱碱性是由于溶液中有 OH^- 离子生成的缘故:

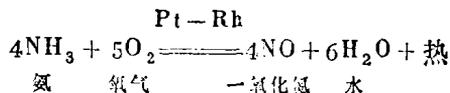


但过去人们认为氨溶于水中生成氢氧化铵,而氢氧化铵部分电离成 NH_4^+ 离子和 OH^- 离子,所以现在习惯上仍把氨水叫做氢氧化铵。

氨分子中氮的化合价为 -3 价,是氮的最低化合价,所以氨是一个还原剂,可被氧化剂氧化为氮或一氧化氮,例如,氨不与空气反应,但在纯氧内燃烧,生成氮和水:

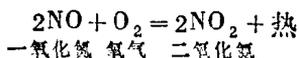


在有催化剂时,上述反应进一步使氨变为一氧化氮:

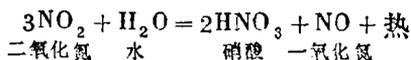


这个接触氧化作用,是工业上从氨制造硝酸的基础。

我们已经知道,在催化剂存在下,氨能氧化而生成一氧化氮,一氧化氮遇氧气被氧化成二氧化氮:



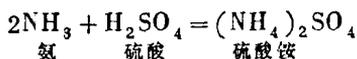
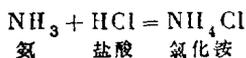
二氧化氮用水吸收生成硝酸和一氧化氮:



在生产上,跟硝酸同时生成的一氧化氮继续被氧化,再与水反应变成硝酸。

氨是现代化学工业的重要产品,它是制造铵盐、硝酸、氮肥以及某些炸药和染料的主要原料。

氨和酸能直接结合生成铵盐。例如:

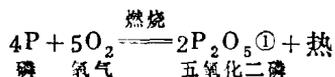


氨水、硝酸铵、硫酸铵和氯化铵等都是常用的化肥。

二、磷

磷(P)能生成多种性质不同的单质，其中主要的有白磷（也叫黄磷）和红磷（也叫赤磷）。

纯白磷是一种白色透明的晶体，遇光即逐渐变为黄色。在空气中很易氧化，加热超过 50°C 即燃烧，因此，保存白磷时，必须放在水里。磷燃烧就形成五氧化二磷：



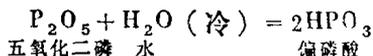
磷曝露于空气中时，在暗处可见它发光。这是由于磷所放出的微量蒸气与空气中的氧化合的缘故。白磷不溶于水，易溶于二硫化碳(CS_2)。

白磷有剧毒，误食微量即能使人致死。

红磷是一种暗红色粉末，不溶于水，无毒，化学性质不如黄磷活泼。

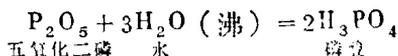
五氧化二磷又叫做磷酐，它是一种白色固体，有极强的吸水性，可做干燥剂。

磷酐和冷水反应生成偏磷酸(HPO_3)：



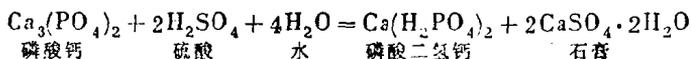
磷酐和沸水反应，生成磷酸：

① 正确分子式应为 P_4O_{10} 。



磷酸分子内含有三个可被金属置换的氢原子，能生成一种正盐($M_3\text{PO}_4$)和两种酸式盐(磷酸二氢盐 MH_2PO_4 和磷酸氢二盐 M_2HPO_4)。磷酸二氢盐皆溶于水，磷酸氢二盐和磷酸盐中碱金属的盐可溶于水。

磷酸盐中最重要的是钙盐。磷酸钙 $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]$ 和磷酸氢钙 (CaHPO_4) 皆不溶于水。磷酸二氢钙 $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2]$ 易溶于水。可用适量硫酸处理磷酸钙而制得。其反应方程式为：



所产生的磷酸二氢钙和石膏的混合物叫做过磷酸钙，是农业上施用很广的磷肥。

化学肥料具有养分含量高、肥效快、用量少、运输贮存和施用方便等优点。但是，和农家肥料相比，化肥也有一些缺点。如农家肥料所含养分较全，特别是含有机物质和刺激作物生长的植物生长激素；可以改进土壤结构等。而化肥所含养分较单纯，有的化肥在长期使用后会破坏土壤结构，不利于作物的生长。此外，有些化肥对于作物和土壤有一定的选择性。所以，农家肥料和化学肥料要配合施用，效果才好。

习 题

1. 从平衡观点说明在催化剂存在时，用氢气和氮气合成氨的条件。

① M在这里代表一价金属。

2. 说明铵根离子的鉴别方法。
3. 用反应式表示氨溶于水中所起的化学作用，并说明氨水显弱碱性的原因。
4. 氨、氨水和铵根有什么区别？
5. 写出氨在纯氧中燃烧和在有催化剂存在时氨与氧反应的化学方程式。
6. 写出从氨制取硝酸的反应方程式。
7. 说明氨和铵盐的主要用途。
8. 黄磷为什么要保存在水中？
9. 什么是过磷酸钙？写出制备过磷酸钙的反应方程式。
10. 举例说明磷酸能生成哪几类盐。

第十章 金属通论

目前已知的107种元素中,金属元素占85种。这些金属元素各有自己的特性,也有它们的共性。通过本章内容的学习,可以使我们了解金属元素的一般通性,为今后深入学习打下基础。

第一节 金属的物理性质和金属的结构

学习要求:

- 1.了解金属的结构和金属键的意义。
- 2.认识金属的导电性、导热性和延展性与其内部结构的关系。
- 3.认识金属的主要物理性质。

一、金属元素在周期表中的位置及其原子结构的特点

目前已知的107种元素中,非金属占22种,按它们在元素周期表中的位置,除氢外,均集中在元素周期表(长式)的右上方,即阶梯形的粗线以上。金属占85种,均集中在周期表的左下方,即阶梯形的粗线以下。应该指出,这种划分是相对的,尤其是和粗线相邻的元素,大都既具有金属性,又具有非金属性。

金属的原子结构的特征是：一般金属原子最外层的电子数较少，金属原子容易失去电子，变成正离子或阳离子，因此，也有称金属元素为“正电”元素的。一般非金属原子的最外层上的电子数较多，非金属原子容易结合电子，所以，也有称非金属元素为“负电”元素的。金属和非金属这种结构上的特征，是金属和非金属性质不同的主要原因。

二、金属的物理性质与金属的内部结构

金属具有很多共同的物理性质，这些性质都是一般非金属所没有的。金属的物理性质主要有以下几个方面。

1. 金属都是不透明的，它们都具有金属光泽。金属光泽只有当金属在整块时才能表现出来，当金属成粉末状态时，除镁、铝等少数金属仍然保持原有光泽外，其它金属都呈暗灰色或黑色。

2. 金属一般都有良好的传热性和导电性。但它们传热和导电的能力各不相同，金属中传热和导电最好的是银，其次是铜。铝的导电性也很好，因为它比铜轻，所以现代电力工业上已逐渐用铝代替铜来制导线。金属按照传热性的强弱所排成的顺序，跟按照导电性的强弱所排成的顺序相同(见图10—1)。也就是说，金属导电性强的，传热性也强；导电性弱的，传热性也弱。金属的导电能力

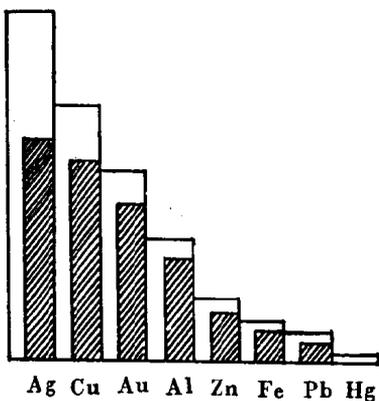


图10—1 几种金属的传热性 (空白柱体)和导电性(线条柱体)

随着温度的升高而减弱，金属的纯度越高，其导电性亦越好。

3. 金属具有延展性，所以大多数金属能用多种方法进行加工。工业上，利用金属的延展性，通过锻造、冲压、拉制、轧制等加工方法做成各种各样所需要的金属制品。各种金属延展性的大小是不相同的，我们把常用的几种金属的延展性按由大到小的顺序排列如下：

金、银、铝、铜、锡、铅、锌、铁。

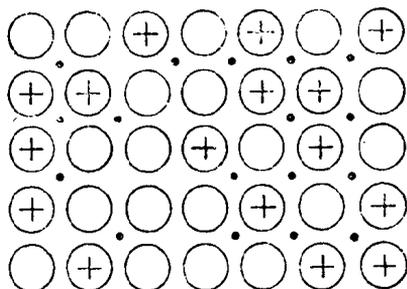
金属的延展性随着温度的增高而增大，所以金属的锻造、轧制等操作一般都在炽热的情况下进行。

有少数金属的延展性很小，这些金属一被敲打就碎成小块。如铍、铋、锰等金属就属于这一类。

上述的金属的共同性质，是由金属的内部结构所决定的。

在通常的状况下，一般金属都呈固态（晶体）。在金属的晶体里，金属原子都按一定的顺序排列，而且各以自己固定的位置为中心，作着不规则的振动。前面已经提到，金属原子具有容易失去外层电子的特性，金属原子失去一部分外层电子后变成正离子。而那些脱落下来的电子很容易在金属内部移动位置，叫做自由电子。按照近代的观点，金属晶体的内部不停地进行着如下的电子交换过程：电子从金属原子上脱落下来，金属原子变成正离子，而脱落下来的自由电子又可以跟正离子结合。因此，金属晶体中有中性的原子，有带正电荷的离子，还有自由电子。由于自由电子不停地运动，它时而在这一离子附近运动，时而又在那一离子附近运动，这样就把所有的金属离子和原子连结起来组成金属晶体。这种由于自由电子的存在而引起晶体中粒子间的作用力，叫做金属键。也可以说，金属的原子和离子是因金属键的存在

而被连接在一起形成金属晶体的。化学键除前面介绍过的离子键和共价键外，还包括金属键。和金刚石的晶体一样，整个金属晶体可以看成是一个巨大的分子。



○ 代表中性原子 ⊕ 代表阳离子 ● 代表自由电子

图10—2 金属结构的示意图

上面我们简要地介绍了金属的内部结构，由此可解释金属具有上述特殊物理性质的原因。

在通常情况下，金属中自由电子的运动是没有一定方向的，当金属两端有很小的一点电位差（电势差）时，这些自由电子就开始向着一定的方向流动，形成电流，这就是金属容易导电的原因。由于各种金属晶体里自由电子的多少不同，因此，各种金属的导电能力也各不相同。当金属的温度升高时，金属晶体内的金属原子和离子的振动也加快，振幅增大，自由电子运动时所受到的阻力也就增大，所以，金属的导电性随温度的升高而降低。

杂质的存在也会使金属的导电性大大降低，因为杂质混入金属晶体内，就破坏了金属原子的有秩序的排列，使电子的运动受到阻碍，导电性也就降低。所以，金属的纯度越

高，其导电性也就越好。

金属的优良传热性也可由自由电子的存在来解释。自由电子在不断的运动中，不断与金属原子和离子相碰撞，这样就可引起它们之间的能量交换。当金属的某一部分被加热时，这部分金属晶体中的自由电子的运动速度加快，金属原子和离子的振动也增强，通过自由电子的运动，可把能量交换给邻近的离子和原子，这样辗转传递，于是整块金属很快就得到同样的温度。

金属的延展性可以从金属的结构得到说明。当金属受到外力作用后，使各层离子和原子作相对的滑动，而仍保持着金属键的结合力，所以金属虽发生变形但不会断裂。

金属晶体中除了自由电子以外，还有中性原子和正离子。在不同的金属里，含有的中性原子和正离子各不相同。同时，晶体的形状、大小也不尽相同。这些情况必然要反映在它们的物理性质上，所以，除通性外，每种金属还有它自己的特性。例如，金属的比重、熔点、硬度等性质，就与各种金属原子的重量、核电荷的数量、晶体里原子的排列方式等等因素有关。由于这些情况非常复杂，所以不在这里讨论了。总之，因为有上述这些缘故，金属的这些性质，如比重、熔点、硬度等差别很大。

表10—1 几种重要金属的比重

金 属 比 重	铂	金	汞	铅	银	铜	镍	铁
	21.45	19.3	13.6	11.34	10.5	8.92	8.9	7.86
	锡	锌	铝	镁	钙	钠	钾	锂
	7.3	7.14	2.7	1.74	1.55	0.97	0.86	0.53

从表中看出大多数金属的比重比水大，只有钾、钠、铯的比重比水小。按照比重的大小，人们把金属分为重金属和轻金属两类。凡比重大于5的为重金属，比重小于5的为轻金属。

表10—2 几种重要金属的熔点

金 属 熔点°C	钨	铂	铁	镍	铜	金	银	钙
	3370	1774	1535	1455	1033	1063	961	848
	铝	镁	锌	铅	锡	钠	钾	汞
	660	651	419	327	232	98	62.3	-39

从上表可以看到，金属熔点的差别很大。汞的熔点是 -39°C ，所以在常温下，汞呈液态；多数金属的熔点都在 1000°C 以上，熔点最高的是钨，所以钨可以用来做电灯泡里的灯丝。

表10—3 几种重要金属的硬度

(以金刚石的硬度为10，作为标准来比较)

金 属 硬 度	铬	钨	镍	铂	铁	铜	铝	银
	9	7	5	4.3	4	3	2.9	2.7
	锌	金	钙	镁	锡	铅	钾	钠
	2.5	2.5	2.2	2.1	1.8	1.5	0.5	0.4

从上表可以看出，金属硬度的差别也很大。最软的钠、钾，可以用小刀切割，而铬的硬度却几乎跟金刚石差不多。

习 题

1. 金属具有哪些特殊的，而一般非金属所没有的物理性质？
2. 什么是金属键？
3. 根据金属的内部结构，说明金属的导电性、传热性和延展性。
4. 温度和金属中的杂质，对金属的导电能力有何影响？
5. 轻金属和重金属是如何划分的？举出几种常用的轻金属和重金属。

第二节 金属的化学性质

学习要求：

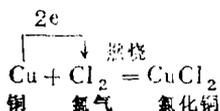
1. 了解金属的重要化学性质。
2. 理解金属的化学性质与金属活泼性顺序表的关系。
3. 进一步掌握氧化——还原反应。

一、金属的化学性质

金属的化学性质的特征是：一般金属原子最外电子层上的电子数较少，在化学反应中容易失去电子变成正离子，因此，金属是还原剂，这是金属具有许多共同化学性质的内因。由于各种金属原子结构上的不同，所以各种金属原子失去电子的难易程度也不同。金属原子越容易失去电子，它的活泼性就越强，它的还原性也就越强。下面，我们从金属与非金属的作用，金属与酸类及盐类的置换作用等方面，对于金属原子容易失去电子变成正离子的化学性质，再进一步讨

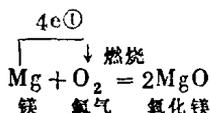
论如下。

1. 金属容易和卤素直接化合。例如，红热的铜丝在氯气中燃烧，生成氯化铜。



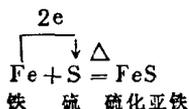
这个反应的实质是：金属铜原子失去电子，电子由铜转向氯，铜被氧化，是还原剂；氯得到电子被还原，是氧化剂。

2. 金属容易和氧气化合。例如，镁在空气中燃烧时，发出耀眼的光，生成氧化镁。反应方程式为：



上述反应的实质是：镁原子失去电子，电子由镁转向氧，镁被氧化，是还原剂；氧得到电子被还原，是氧化剂。

3. 金属能和硫化合。例如，加热铁粉和硫粉的混合物时，发生剧烈的反应，生成黑色的硫化亚铁。反应如下：

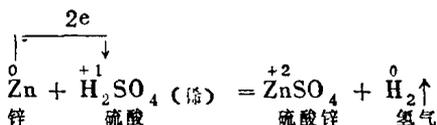


反应的实质是：铁失去电子，电子由铁转向硫，铁被氧化，是还原剂；硫得到电子被还原，是氧化剂。

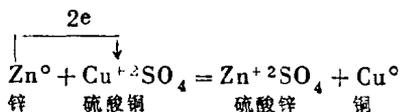
4. 金属与酸类或盐类的置换作用。在第四章中，已经讨论过金属活泼性顺序表，金属可按金属活泼性顺序与酸类或盐类起置换反应。排在氢前面的金属，能够置换出酸溶液里

① 箭头指电子转移方向。

的氢，排在氢后面的金属，不能置换出酸溶液里的氢；位于前面的金属，可以把位于后面的金属从它们的盐溶液中置换出来，反之就不能发生置换反应。例如，锌和稀硫酸的反应：



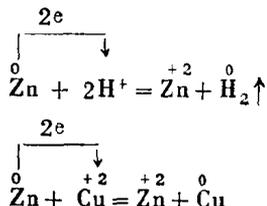
又如，锌和硫酸铜溶液的反应：



在上面第一个反应里，锌失去电子，电子从锌转向氢离子，锌被氧化，是还原剂；氢离子得到电子被还原，氢离子（或稀硫酸）是氧化剂。

在上面第二个反应里，锌失去电子，电子从锌转向铜离子，锌被氧化，是还原剂；铜离子得到电子被还原，铜离子（或硫酸铜）是氧化剂。

因为硫酸和硫酸铜都是强电解质，在溶液中完全电离，所以上面的两个反应可用离子方程式表示如下：



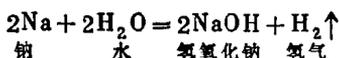
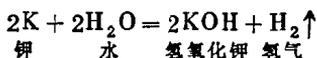
由上可知，不论是金属跟非金属元素直接化合，或是金属跟酸和盐起置换反应，金属原子在这些反应里都是失去电

子，被氧化，是还原剂。而得到电子的是非金属元素的原子，或是氢离子，或是其它金属的离子。

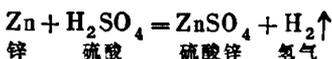
二、金属的化学性质与金属活泼性顺序表的关系

通过上面的讨论，可知金属元素参加化学反应的实质，在于它失去电子而转变成正离子。但是，如前所述，由于各种金属原子结构上的不同，它们失去电子的难易程度也不同。如果金属元素的原子越容易失去电子，它的化学活泼性就越强；反之，它的活泼性也就越弱。因此，在金属活泼性顺序表中，越是排在前面的金属，失去电子越容易，还原能力越强，其化学性质也越活泼，这可以从金属置换氢和金属在空气中的氧化作用上反映出来。

1. 金属跟酸或水反应置换氢的能力大小，和金属活泼性顺序表是大致相同的。例如，排在最前面的几种金属（钾、钠等），不但能够置换酸溶液里的氢，而且在常温下就能够剧烈地与水反应，置换出水里的氢：



在它们后面的铝、锌等金属，在常温下能置换出稀酸（硫酸或盐酸）中的氢。例如，锌与稀硫酸反应：



在金属活泼性顺序表中，位于氢后面的金属，如银、铂、金等，无论在常温和高温下，都不能从水或稀酸中置换出氢。

2. 金属跟氧化合的能力大小，也与金属活泼性顺序表大

致符合。例如，排在前面的钾、钠等金属，最容易与氧化合。由于它们在常温下就能很快地变成氧化物，所以只有使它们隔绝空气才能保存。

镁、铝等金属也比较容易氧化，在空气里放置较久时，它们的表面就逐渐生成一层氧化物。但是，它们比钾、钠等金属要稳定得多。

铜、汞等金属在常温下的干燥空气里不能氧化，在加热情况下才能与氧作用。

银、铂、金不论在常温下或是在加热时，都不与氧作用。

习 题

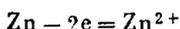
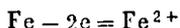
1. 举例说明金属具有哪些重要的化学性质？
2. 金属在参加化学反应时，原子结构发生了什么变化？
3. 下列各物质之间哪些能起反应（用的酸和盐都是水溶液）？写出分子方程式和离子方程式，并注明电子得失：
（1）铝和盐酸；（2）锌和硝酸银；（3）银和硝酸锌；（4）铁和硫酸铜；（5）银和盐酸。

第三节 金属的腐蚀和防护

学习要求：

1. 了解金属腐蚀的危害，认识防止金属腐蚀的重要意义。
2. 了解原电池的工作原理。
3. 明确电化学腐蚀的原理和常用的几种防止腐蚀的方法。

金属由于跟周围接触到的物质发生化学反应，而造成金属损耗的过程叫做金属的腐蚀。从化学反应的本质来看，金属的腐蚀过程是一个氧化还原过程，在这个过程中，金属原子失去电子而变成正离子，即发生氧化反应。如：



在前面讨论金属的化学性质的特征时已经指出，由于一般金属原子最外电子层上的电子数较少，所以，它们在化学反应中容易失去电子变成正离子。这就是说，除少数化学性质不活泼的金属如金、铂等以外，大多数金属原子都有与周围接触到的物质发生化学反应，转变成正离子的倾向，也可说金属受腐蚀是一种普遍的现象。

金属腐蚀给国民经济带来的损失是很大的。大气中、海洋中和地下的各种金属制品都因不断地腐蚀而被废弃，而且由于金属设备受腐蚀所引起的产品质量下降，停工减产，爆炸（例如锅炉）和大量有用物质的渗漏而造成的损失，也是十分惊人的。因此，研究金属腐蚀的原因和防止腐蚀的方法是一个极为重要的任务。

为了防止金属的腐蚀，必须先知道金属腐蚀的本质。

一、金属的腐蚀

根据金属腐蚀过程的特点不同，腐蚀分为化学腐蚀和电化学腐蚀两类。

1. 化学腐蚀

金属跟周围接触到的物质（一般是非电解质）直接进行化学反应而引起的腐蚀叫做化学腐蚀。对于不是十分活泼的金属来说，在常温时，其化学腐蚀速度一般不很快，因而而不

是腐蚀的主要方面。但在高温时化学腐蚀的速度却很快。例如，钢在轧制过程中和铁在浇注时，表面上都形成一层氧化铁。因而在高温时必需考虑化学腐蚀。

2. 电化学腐蚀

大多数金属制品在使用过程中，都与电解质溶液相接触。如海水中和土壤中都含有电解质。在潮湿的空气里，由于一般固体都有在它们的表面吸附湿气的性能，因此，在金属制品的表面常有薄层水膜附在上面。水虽然不易电离，但它也能电离出极少量的 H^+ 和 OH^- ，何况存在于空气里的二氧化碳，有时还有二氧化硫（在工业区的空气里可以含有较多的二氧化碳、二氧化硫等气体），都是能溶于水而生成酸的气体。所以，当水膜吸收了空气中的二氧化碳，二氧化硫等气体后，其中所含的 H^+ 离子数量就会增加，结果在金属制品的表面上，形成了一层电解质溶液，金属制品和电解质溶液作用而被腐蚀。在这种腐蚀的过程中，总伴随着电流的产生，这种伴同发生电流的腐蚀，叫做电化学腐蚀。

电化学腐蚀比较复杂，为了解其本质，我们先要介绍一下关于原电池的概念。

(1) 原电池

如将一块铜片和一块锌片平行地插入盛有稀硫酸的容器中，并用导线相连，导线中串接一个安培计（见图10—3），这时可看到安培计的指针发生偏转，证明导线中有电流通过；在铜片上有气体（即氢气）产生；同时发现锌片不断溶解（即腐蚀）。

下面，我们来解释上述实验中所观察到的现象。

我们知道，根据金属活泼性顺序表，锌容易和稀硫酸发

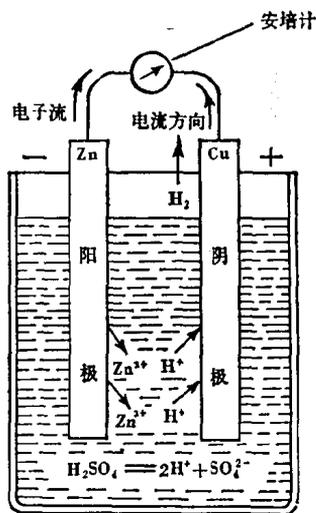
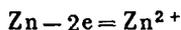


图10-3 原电池工作原理示意图

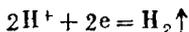
生化学反应，可以置换出稀硫酸中的氢，这个反应的实质是：锌原子失去电子成为锌离子进入溶液，所以使锌片不断溶解。这时在锌片上发生的是氧化反应，即：



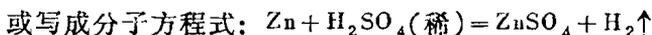
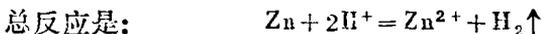
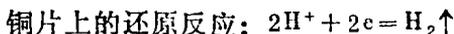
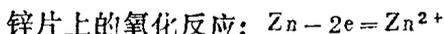
由于锌片的不断溶解，使得锌片附近的 Zn^{2+} 浓度比较大，这样就在锌片的周围形成了一层带正电的离子层，因而阻止了溶液中的 H^+ 移向锌片，使 H^+ 难于夺取锌片上的电子生成氢气。于是锌片上的电子便沿导线流向铜片，形成电子流，因而在导线中就有电流^①通过。电子到达铜片后，溶液中的氢离子便移动到铜片上，夺得电子形成氢原子，然后再结合成氢分子。所以在铜片上有氢气泡放出。这时在铜片

① 电子流动的方向和电流的方向相反。

上发生的是还原反应。即：



我们把在锌片上发生的氧化反应和在铜片上发生的还原反应合并，写成总的反应式为：



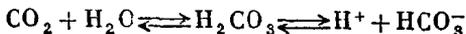
由此可见，上述反应的实质就是锌和稀硫酸发生了氧化还原反应，反应时所放出的化学能转变为电能。这种借助于氧化还原反应的化学变化得到电能的装置，也就是化学能转变为电能的装置，叫做原电池。

在原电池中，按照物理学中的规定，电子流出的一极为电池的负极；电子流入的一极为电池的正极。所以在铜锌组成的原电池中，锌片是电池的负极，铜片是电池的正极。

(2) 电化学腐蚀的原理

金属的电化学腐蚀过程和原电池的工作原理是相同的。现以钢铁制品在潮湿空气中的腐蚀为例来说明。

一般工业上生产的铁中总含有杂质，其中有些杂质如Cu和Sn都比铁不易失去电子，又如杂质 Fe_3C （可导电）亦不易失去电子。如将含有这些杂质的铁放在空气中，由于空气中有湿气，这样就使铁表面上覆盖一层极薄的水膜。前已指出，水的电离度虽小，但仍能电离出少量的 H^+ 和 OH^- 离子，而且由于水吸收了空气中的二氧化碳后形成了碳酸，所以电离出来的 H^+ 离子数量也因而增加：



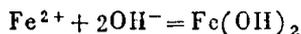
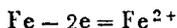
这样，铁就好象放在含有 H^+ 离子、 OH^- 离子和 HCO_3^- 离子的溶液中一样，在铁的表面上就形成了结构和铜锌原电池相似的无数腐蚀微电池。在这种腐蚀微电池中，较活泼的铁作为负极，而Cu、Sn、 Fe_3C 等杂质作为正极。由于正极和负极是互相紧密接触的，所以铁的腐蚀过程便不断地进行（见图10—4）。

在负极（铁上）进行的是氧化反应：铁将 Fe^{2+} 离子投入溶液，同时将多余的电子移向杂质。在正极（杂质上）进行的是还原反应： H^+ 离子和电子结合变成氢气放出。溶液中的 Fe^{2+} 离子和 OH^- 离子结合，生成 $Fe(OH)_2$ 附着在铁表面上，这样铁便很快地遭受腐蚀。

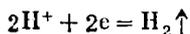
在腐蚀电池中，负极上进行氧化反应，故负极又常叫做阳极；正极上进行还原反应，故正极又常叫做阴极。要注意，正、负极和阴、阳极是从两个不同的角度来区分的。正、负极是根据电位的高低来区分的，阴、阳极是根据电极反应的性质（氧化或还原）来区分的。

上述腐蚀过程的电极反应可表示如下：

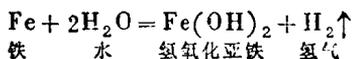
在铁（阳极）上：



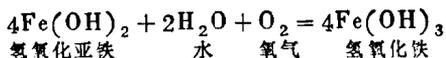
在杂质（阴极）上：



总反应：



然后， $Fe(OH)_2$ 被空气中的氧氧化为 $Fe(OH)_3$ ，即：



$\text{Fe}(\text{OH})_3$ 脱水后成为 Fe_2O_3 ，即我们经常看到的铁锈。

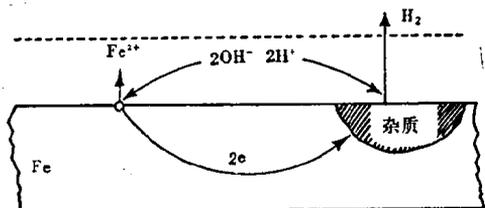


图10—4 铁腐蚀示意图

金属腐蚀是一个复杂的过程，影响金属腐蚀的因素也很多。金属是否耐腐蚀，首先决定于金属本身的性质。从失电子的能力来看，活泼金属应该比不活泼金属容易受到腐蚀。但有的金属象铝，虽然它的化学性质比铁活泼，但铝在空气中抵抗腐蚀的能力反而比铁大得多，这是因为在铝的表面上生成了一层很薄的、可是非常紧密的氧化铝薄膜，这层薄膜保护了铝的内部不受腐蚀。

金属的纯度也是影响腐蚀的一个重要因素。如果金属越纯，杂质越少，那末形成腐蚀微电池的机会也就越少。所以，纯金属在空气中通常几乎是不遭受腐蚀，甚至象铁这样的金属在纯净状态下也不会生锈。但是工业用的金属经常含有各种杂质，杂质的存在就是引起金属腐蚀的一个重要原因。

金属接触的外界物质的性质，对腐蚀的影响也是很大的。例如，金属在潮湿的空气中总比在干燥的空气中容易生锈，埋在地下的铁管也比在地面上的容易腐蚀，在工厂附近的铁轨，由于空气中含有较多的二氧化碳、二氧化硫等气体，也

更容易腐蚀生锈。

二、防止金属腐蚀的方法

防止金属腐蚀的方法很多，主要有以下几种：

1. 改变金属的成分，制成各种合金。

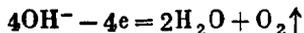
将金属和某些元素熔合组成合金，可以提高金属的抗蚀性。现代冶金工业生产着各种各样的合金，例如不锈钢和各种有色金属的合金。在这些合金里，有些能耐酸性溶液或碱性溶液的腐蚀；有些在易起氧化还原反应的环境里保持稳定；有些在高温或高压下能保持稳定。

2. 在金属表面加以坚固的保护层，使金属跟周围物质隔绝。常用的有以下几种方法：

(1) 在金属表面上涂油脂、油漆、搪瓷、塑料、橡胶和沥青等物质。

(2) 使金属表面形成一层致密而稳定的氧化物保护膜，以防止金属腐蚀。例如，在一定的温度下，用亚硝酸钠(NaNO_2)和苛性钠(NaOH)溶液同钢铁作用，可在钢铁表面上生成一层蓝黑色的紧密的氧化物薄膜，这种方法通常叫做发蓝处理。

也可以利用电解的原理，使某些金属经过阳极氧化处理，在其表面上生成一层紧密的氧化物薄膜，来防止腐蚀。如铝制品，在16%的硫酸溶液中，以它做阳极，铝板做阴极，接通直流电源。在控制适当的温度、电压和电流等条件下，进行一定时间的处理，在阳极，氢氧根离子失去电子生成氧气：



铝制品表面被氧所氧化，形成一层紧密的氧化铝薄膜。经阳

极氧化处理后的铝制品不但色泽美观，而且还具有硬度大、耐磨、耐腐蚀、光亮和易于着色等优点。

(3) 用热镀、喷镀、电镀等方法，在金属表面镀上一层比较稳定的金属。

热镀是把一种金属（如铁）浸入另一种加热熔化的金属（如锌或锡）液体里，镀上一层金属保护层。常用的镀锌铁（白铁）和镀锡铁（马口铁），就是用这种方法制成的。

喷镀是把易熔的金属（如铝）熔化后，用压缩空气喷在被镀的金属上。巨大的金属制品，通常使用喷镀的方法。

利用电解的原理，把一种金属镀到另一种金属表面上去的方法叫做电镀（见第七章第六节）。利用电镀的方法，可以得到紧密、坚固、光洁美观的金属保护层。

3. 保持金属制品表面的干燥和洁净。

被锈斑或尘埃所污染的金属，在潮湿的空气中会加速电化学腐蚀，所以经常保持金属制品表面干燥、洁净，也可防止金属腐蚀。

总之，防止金属腐蚀的方法很多，上面所介绍的只是主要的几种，在具体实践中，究竟采用什么方法，要根据金属的性质和金属制品的用途来决定。

习 题

1. 什么叫做金属腐蚀？金属腐蚀属于哪一类型的反应？
2. 什么叫做化学腐蚀？什么叫做电化学腐蚀？
3. 举例说明原电池的工作原理。
4. 说明钢铁制品在潮湿空气中的腐蚀原理。
5. 影响金属腐蚀的因素主要有哪些？

6. 为什么马口铁一旦损坏，内部的铁生锈来比不镀锡的时候更快？

7. 防止金属腐蚀的方法主要有哪些？

第四节 金属的存在和冶炼

学习要求：

1. 了解金属在自然界的存在状态与其化学性质的关系。
2. 了解金属冶炼的一般方法。

一、金属的存在

由于各种金属的化学活泼性相差很大，因此，它们在自然界里存在的形式也各不相同。化学性质不活泼的金属，如金和铂，是以游离状态——单质存在于自然界的。铜和银在自然界中也有以游离状态存在的，但主要的是以化合状态存在。其他金属绝大多数是以化合状态存在。对化学性质活泼的轻金属来说，它们都以化合状态存在于自然界里。

在自然界里，轻金属一般都形成氯化物、硫酸盐、磷酸盐、碳酸盐等盐类，个别轻金属也有形成氧化物的，如矾土($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)。重金属主要形成氧化物和硫化物，也有形成碳酸盐的。

含有金属或金属的化合物、并且适合于工业上提炼这些金属的矿物或岩石，叫做矿石。绝大多数矿石里都含有多少不等的杂质，主要是石英、石灰石和长石等等。这种杂质统

称为脉石。

矿石里脉石的含量过多，从中提炼金属就很不经济，这样的矿石在冶炼以前就要设法除去一部分杂质，从而提高矿石的质量。在冶炼以前设法减少矿石里所含脉石的过程，叫做选矿。

二、金属冶炼的一般方法

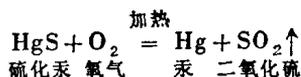
开采出来的矿石，先用物理方法把无用的沙石除去，然后经过冶炼而制得金属。所谓金属的冶炼，一般是指从含有金属化合物的矿石里，把金属提取出来。从化合物里提取金属时金属所起的变化，是金属的离子获得电子被还原成金属原子。因此，从矿石里提取金属的过程，从金属本身说来，是一个还原过程。

由于金属的活泼性不同，金属离子结合电子被还原成原子的能力也各不相同。在金属活泼性顺序表中，排在前面的金属容易失去电子变成金属正离子，那末反过来，这些金属正离子就不容易获得电子被还原成金属；同样道理，排在后面的金属难于失去电子变成金属正离子，所以这些金属正离子也就容易获得电子而被还原成金属。

根据金属离子获得电子的难易，冶炼金属的方法也不一样，工业上冶炼金属的一般方法主要有以下几种：

1. 加热法

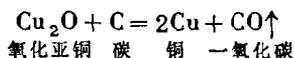
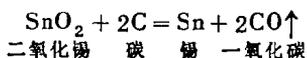
越不活泼的金属，它的离子越容易与电子结合而被还原为原子。在金属活泼性顺序表中，排在后面的几种金属，用加热的方法可使它们从化合物里还原出来。例如，工业上提炼汞，就是将矿石辰砂(HgS)在空气中加热，使汞还原而制得的。



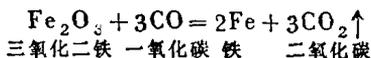
2. 还原剂法

在金属活泼性顺序表中，排在铝后面、汞前面的一些金属，一般不能用加热法还原。要使这些金属从它们的矿石里冶炼出来，必须另加还原剂。根据金属的活泼性和对提炼出来的金属纯度的要求，通常使用的还原剂有炭、一氧化碳、氢和活泼的金属等。

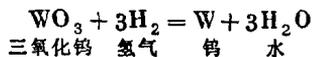
(1) 用炭作还原剂 从金属氧化物矿石里冶炼金属的最重要的方法，是在高温下用炭还原。例如，从锡石(SnO_2)或赤铜矿(Cu_2O)冶炼锡或铜时就用这种方法：



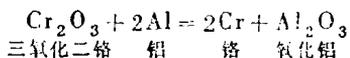
(2) 用一氧化碳作还原剂 有时在冶炼炉里放的是炭，可是在实际的冶炼过程中，起主要还原剂作用的是由炭生成的一氧化碳。例如，炼铁时在高炉里的反应为：



(3) 用氢气作还原剂 用炭作还原剂冶炼出来的金属，往往混有碳或碳的化合物，需要冶炼纯净的金属时（如钨、钼、锆、钴等），可用氢气作还原剂。把氢气通过加热的金属氧化物粉末，氢气就与氧化合成水而使金属还原出来。例如，冶炼金属钨就常用氢气作还原剂：

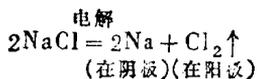


(4) 用比较活泼的金属作还原剂 冶炼金属时, 有时也可以用金属作还原剂。但这种金属一定要比被冶炼的金属更活泼, 而且价值也要更低廉。金属铝常用作冶炼其它金属的还原剂, 这是因为铝比较活泼, 而且它跟氧化合时发出的热量大。因此, 把铝粉和比它活泼性弱的其它金属的氧化物混和灼烧的时候, 铝就能从那种金属的氧化物中, 把那种金属还原出来, 同时放出大量的热。例如, 铬、锰等熔点比较高的金属, 就是用这种方法冶炼出来的, 因为只有这样的高温下, 才能使还原出来的金属呈液态析出:



3. 电解法

在金属活泼性顺序表里, 排在锰前面的几种金属, 都是非常活泼的金属, 它们都很容易失去电子, 所以不能用一般的还原剂使它们从化合物中还原出来。在工业上, 这些金属都用电解法制取。例如, 工业上常用电解熔融的氯化钠来制取金属钠:



习 题

1. 金属在自然界的存在状态与其化学性质有何关系? 试举例说明。
2. 举例说明冶炼金属的一般方法。
3. 为什么轻金属一般都不能用还原法从矿石里制取, 而只能用电解法制取?
4. 下列说法是否正确, 并将错误之处改正过来:

(1) 金属的活泼性越强, 越容易放出电子, 它的离子也越容易结合电子.

(2) 冶炼金属时, 可以用金属活泼性较弱的那种金属作还原剂, 因为作为还原剂的金属, 应该比被还原的金属难放出电子.

5. 用一氧化碳还原含 Fe_2O_3 75%的铁矿石100吨, 在理论上可以制得铁多少吨? (答: 52.46吨)

第五节 合金

学习要求:

了解合金的意义及其广泛的用途.

因为纯金属的性质, 如硬度、强度、耐热、耐腐蚀性等, 常常不能满足工农业生产的需要, 而且纯金属生产比较复杂, 成本也高, 所以, 除了某些特殊的用途如电力、半导体等工业需要纯金属外, 在工农业生产和日常生活里, 很少用纯金属, 一般常用的都是合金.

合金是一种金属跟一种或几种其它金属或非金属熔合在一起所生成的物质. 例如, 生铁和钢都是铁和碳、硅、锰等元素的合金(见下节).

合金的性质与组成它的各成分的纯金属性质有着显著的差别.

多数合金的熔点低于组成它的任何一种金属的熔点. 例如, 锡的熔点是 232°C , 铅的熔点是 327°C , 用二分锡和一分铅所组成的合金就是通常用的焊锡, 它的熔点是 180°C ,

比锡或铅的熔点都低。

合金的硬度一般比各成分金属的硬度都要大。例如，铁的合金就要比纯铁的硬度大。又如，纯铝比较软，容易弯曲，而制造飞机用的坚铝（铝和少量的铜、镁、锰、硅组成的合金）要比纯铝坚硬得多。

有些合金不仅在物理性质方面跟组成它的纯金属有显著差别，在化学性质方面也有很大的变化。例如，一般钢铁容易生锈，如果钢中铬的含量约达12%时，所生成的合金就不容易生锈，通常称它为不锈钢。

合金所具有的许多优良性能，是由合金的成分和结构决定的。总之，使用不同的原料，改变这些原料的用量比例，并且改变合金结晶时的条件，可以制得各种各样性质的合金。

因为合金具有许多纯净金属所没有的特性，所以合金在工业上所起的作用很大。现代技术需用性质极其多样的合金，例如，有超硬的和极软的，难熔的和易熔的，适宜于在极高温度和极低温度下使用的，适宜于在高压下和真空中使用的，以及耐酸的和耐碱的，等等。所有这些合金，我们都已制造出来了。

习 题

1. 什么叫合金？为什么合金比纯金属应用更广泛？
2. 合金的熔点和硬度与纯金属有什么不同？

第六节 铁 和 钢

学习要求：

1. 了解炼铁的原理。
2. 了解炼钢的原理。

自然界中重要的铁矿石有赤铁矿 (Fe_2O_3)、磁铁矿 (Fe_3O_4) 等，铁矿石里除含有铁的氧化物外，还含有脉石（主要成分是 SiO_2 ）和其它杂质（硫、磷、锰等）。

我国铁矿资源非常丰富，而且分布相当广泛，这是我国发展钢铁工业和其它工业的物质基础。

一、生铁的冶炼

炼铁的过程，就是在高温下用一氧化碳（还原剂）使铁的氧化物还原为铁的过程。这样冶炼的铁不是纯铁，是含有碳及其它杂质（硅、锰、磷、硫等）的合金，这种合金叫做生铁。生铁中一般含碳 $1.7\% \sim 4.5\%$ 。

炼铁的主要设备是高炉，又叫炼铁炉。大型高炉高达几十米，炉体用耐火砖砌成，外面有厚钢板做外壳。高炉有进料口、进风口及出铁口，出渣口和高炉煤气出口，如图10-5所示。

炼铁时，铁矿石、焦炭和熔剂（石灰石）三种原料按一定比例每隔一定时间从进料口进入高炉。热空气从下部风口鼓进炉内。气体自下而上，炉料自上而下，形成对流，充分接触。在靠近风口处，焦炭燃烧生成二氧化碳，并放出大量

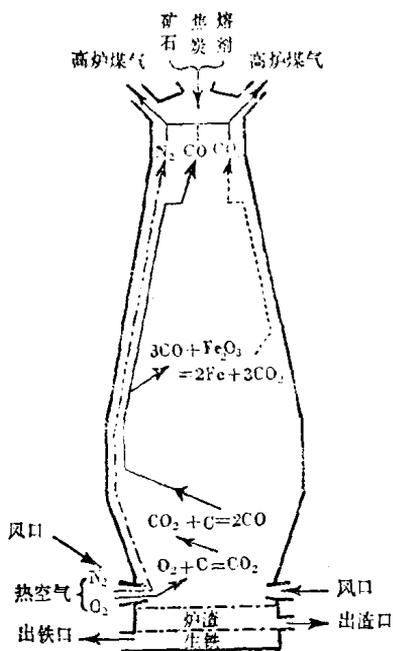
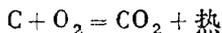
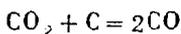


图10—5 高炉示意图

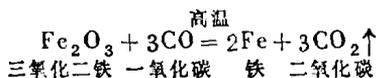
热（温度高达 1800°C ）。



二氧化碳再与炽热的焦炭反应生成一氧化碳：



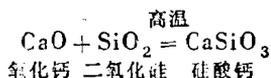
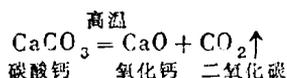
一氧化碳使铁矿石中的三氧化二铁还原成铁：



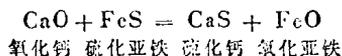
在铁被还原的同时，铁矿石中的其它杂质（硅、锰、磷、硫等元素的化合物）部分也被还原，此时还原出来的铁和碳、

锰、硅、磷、硫等熔合成合金，这种合金就是生铁。

由于铁矿石里除含有铁的氧化物外，还含有难熔的脉石，如不除去，就会影响生铁的冶炼，所以炼铁时还要加入熔剂（一般用石灰石），利用石灰石（ CaCO_3 ）在高温下分解出的生石灰（ CaO ），与脉石中的二氧化硅反应，生成熔点较低的硅酸钙。



氧化钙还能与铁水里的有害杂质硫反应：



生成的硫化钙和硅酸钙一起形成炉渣而排出。

高炉底部生成的生铁和炉渣都是液态，因为比重不同分成两层，上层是炉渣，下层是铁水。

高炉中没有反应完的一氧化碳、二氧化碳和氮气等混和气体从炉气出口排出，这种混和气体叫高炉煤气。高炉煤气中含有可燃气体一氧化碳，可做为气体燃料。炉渣可用来制造水泥。

由于生铁中的碳及其它杂质（硅、锰、磷、硫等）含量均较高，性质松脆，机械性能不好，不能轧制、锻造，不易加工，因此它的应用范围有一定的限制，主要用来铸造一些机床床身和铁台座等。

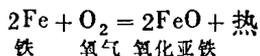
二、钢的冶炼

钢是含碳量在0.3~1.7%之间的铁合金。钢的含碳量和

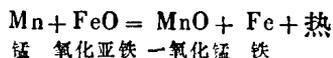
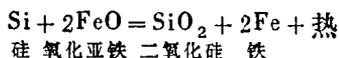
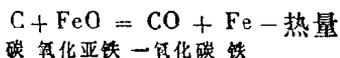
含一般杂质比生铁少，因此具有很多优良性能，如钢的质地坚硬，富有弹性和延展性，可以锻打，展延，抽丝，易于进行机械加工等，所以钢的用途比生铁广得多。

炼铁是用还原剂使铁从它的氧化物里还原出来，而炼钢是用氧化剂使生铁里过多的碳和杂质进行氧化而变成炉渣或气体排出，因此炼钢过程也是一个氧化还原过程。

炼钢时常用的氧化剂是空气和纯氧，当氧作用于生铁时，铁首先被氧化，使部分铁转化为氧化亚铁，并放出大量的热：

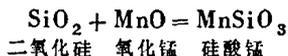


生成的氧化亚铁再使铁水中的碳、硅、锰等杂质氧化：



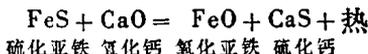
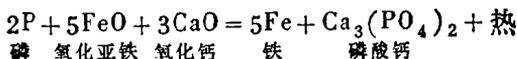
上述反应中多数是放热反应，因而可大大提高炼钢炉内的温度。

生成的一氧化碳是气体，生成的二氧化硅和氧化锰相互作用生成硅酸锰（ MnSiO_3 ），成为炉渣排出。

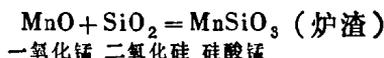
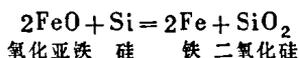
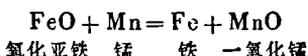


为保证钢的质量，钢中含硫量和含磷量一般都不能超过0.05%。如果含硫量高，钢在热加工时就会断裂（叫热脆性），如果含磷量高，钢在常温下加工时就会断裂（叫冷脆性）。为降低硫、磷含量，在炼钢过程中还须加入一定量的生石灰，使有害元素硫和磷分别和生石灰作用生成磷酸钙

[Ca₃(PO₄)₂]和硫化钙，成为炉渣排出。



当炼钢炉中的氧化反应几乎进行完毕以后，把生成的炉渣排出炉外，此时，在钢水中还含有一部分的氧化亚铁，必须将其除去。同时在各种钢里对硅、锰、磷的含量要求也各不相同。为此，还要加入一些还原剂（叫做脱氧剂），如锰铁、硅铁、金属铝等，使其与氧化亚铁发生反应，这个过程叫做脱氧过程，反应式如下：



炼钢的方法主要有纯氧顶吹转炉炼钢法、平炉炼钢法、电炉炼钢法等。其中纯氧顶吹转炉炼钢，是一种比较先进的炼钢方法，近年来，在我国已经迅速发展起来。

习 题

1. 生铁和钢在组成上和性质上有什么区别？
2. 炼铁和炼钢的化学原理有什么本质区别？写出其中的有关化学反应方程式。
3. 炼铁时加入石灰石起什么作用？写出有关化学方程式。
4. 今有含Fe₂O₃75%的铁矿石100吨，问可炼出含铁96%的生铁多少吨？
(答：54.61吨)
5. 炼钢时，生铁中的杂质(C、Si、Mn)是怎样被氧化的？写出有关化学方程式。

附录 I 国际原子量表 (1973)

元 素		原 子 量	元 素		原 子 量	元 素		原 子 量
符 号	名 称		符 号	名 称		符 号	名 称	
Ac	锕	[227]	Ge	锗	72.59	Pr	镨	140.9077
Ag	银	107.868	H	氢	1.00797	Pt	铂	195.09
Al	铝	26.98154	He	氦	4.00260	Pu	钷	[244]
Am	镅	[243]	Hf	铪	178.49	Ra	镭	226.0254
Ar	氩	39.948	Hg	汞	200.59	Rb	铷	85.4678
As	砷	74.9216	Ho	钬	164.9304	Re	铼	186.207
At	砹	[210]	I	碘	126.9045	Rh	铑	102.9055
Au	金	196.9665	In	铟	114.82	Rn	氡	[222]
B	硼	10.81	Ir	铱	192.22	Ru	钌	101.07
Ba	钡	137.34	K	钾	39.098	S	硫	32.06
Be	铍	9.01218	Kr	氪	83.80	Sb	锑	121.75
Bi	铋	208.9804	La	镧	138.9055	Sc	钪	44.9559
Bk	锫	[247]	Li	锂	6.941	Se	硒	78.96
Br	溴	79.904	Lu	镥	174.97	Si	硅	28.086
C	碳	12.011	Lr	镭	[256]	Sm	钐	150.4
Ca	钙	40.08	Md	镆	[258]	Sn	锡	118.69
Cd	镉	112.40	Mg	镁	24.305	Sr	锶	87.62
Ce	铈	140.12	Mn	锰	54.9380	Ta	钽	180.9479
Cf	锎	[251]	Mo	钼	95.94	Tb	铽	158.9254
Cl	氯	35.453	N	氮	14.0067	Tc	锝	[99]
Cm	锔	[247]	Na	钠	22.98977	Te	碲	127.60
Co	钴	58.9332	Nb	铌	92.9064	Th	钍	232.0381
Cr	铬	51.996	Nd	钕	144.24	Ti	钛	47.90
Cs	铯	132.9054	Ne	氖	20.179	Tl	铊	204.37
Cu	铜	63.546	Ni	镍	58.70	Tm	铥	168.9342
Dy	镝	162.50	No	锘	[259]	U	铀	238.029
Er	铒	167.26	Np	镎	237.0482	V	钒	50.9414
Es	镱	[254]	O	氧	15.9994	W	钨	183.85
Eu	铕	151.96	Os	锇	190.2	Xe	氙	131.30
F	氟	18.99840	P	磷	30.97376	Y	钇	88.9059
Fe	铁	55.847	Pa	镤	231.0359	Yb	镱	173.04
Fm	镆	[257]	Pb	铅	207.2	Zn	锌	65.38
Fr	钫	[223]	Pd	钯	106.4	Zr	锆	91.22
Ga	镓	69.72	Pm	镨	[145]			
Gd	钆	157.25	Po	钋	[210]			

按照元素符号的字母次序排列

[注]以 $C^{12} = 12$ 为基准, 录自1973年国际原子量表。

[G e n e r a l I n f o r m a t i o n]

书名 = 无机化学基础知识

作者 = 山东工学院化学教研室编写

页数 = 342

SS号 = 11163418

出版日期 = 1978年10月第1版

前言
目录

录

第一章物质的变化和原子结构

第一节 物质和物质的变化

第二节 物质的性质 化合反应和分

解反应

第三节 分子和原子

第四节 原子结构基本概念和原子量

第五节 元素和元素符号

第六节 单质 化合物混和物

第二章分子结构和化合价

第一节 分子结构

第二节 分子式 分子量 化合

价

第三节 化学方程式和有关的化学计算

第三章空气氧化还原反应水和氢

第一节空气

第二节 氧氧化还原反应

第三节水

第四节氢

第四章碱酸盐

第一节碱

第二节 酸及金属活泼性顺序

第三节 氧化还原方程式的配平

第四节盐

第五节 氧化物的分类

第五章化学反应速度和化学平衡

第一节 化学反应速度

第二节化学平衡

第六章溶液

第一节 悬浊液乳浊液和溶液的一般

概念

	第二节	饱和溶液和不饱和溶液
	第三节	物质的溶解度
	第四节	溶液的浓度
	第五节	当量 当量定律及有关计算
	第六节	几种溶液浓度之间的换算
	第七章	电解质溶液
	第一节	电离理论
	第二节	弱电解质和强电解质
	第三节	离子反应和离子方程式
	第四节	水的电离和 pH 值
	第五节	盐类的水解
	第六节	电解
	第八章	元素周期表
	第一节	元素周期律
	第二节	元素周期表
	第三节	原子结构与周期律
	第四节	元素周期表内元素性质的递
变规律	第五节	元素周期表内主族元素氧化
物性质		的递变规律
	第六节	元素周期律的意义
	第九章	重要的非金属元素及其化合物
	第一节	卤素
	第二节	硫及其化合物
	第三节	氮和磷的重要化合物
	第十章	金属通论
	第一节	金属的物理性质和金属的结
构		
	第二节	金属的化学性质
	第三节	金属的腐蚀和防护
	第四节	金属的存在和冶炼
	第五节	合金

附录 第六节铁和钢
 国际原子量表 (1 9 7 3)