

高等学校教学参考书

化学分析

上册

武汉大学分析化学教研室编

人民教育出版社

高等学校教学参考书

化 学 分 析

上 册

武汉大学分析化学教研室编

江苏工业学院图书馆
藏书章

人 民 教 育 出 版 社

1975 · 北 京

化 学 分 析

(上 册)

武汉大学分析化学教研室编

*

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京新华印刷厂印装

*

1975年12月第1版 1978年6月第2次印刷

书号 13012·0027 定价 1.55 元

目 录

第一章 化学的基本概念和定律

§ 1-1	化学的基本概念	3
§ 1-2	当量和当量定律	22
§ 1-3	质量作用定律和化学平衡	30

第二章 原子结构和分子结构

§ 2-1	原子的组成	49
§ 2-2	原子核外电子排布的规律	52
§ 2-3	元素周期律和原子的电子层结构	64
§ 2-4	元素的性质和原子结构的关系	83
§ 2-5	离子键和离子型化合物	92
§ 2-6	共价键和共价键物质	101

第三章 溶液

§ 3-1	水	116
§ 3-2	溶液	120
§ 3-3	溶液的浓度	123
§ 3-4	电解质溶液和电离平衡	126
§ 3-5	胶体溶液	142

第四章 元素和化合物

§ 4-1	碱金属和碱土金属	148
§ 4-2	卤素	160
§ 4-3	氧族元素	171
§ 4-4	第三、四、五主族元素	184
§ 4-5	铜分族和锌分族	220
§ 4-6	过渡元素	237
§ 4-7	希土元素	268

§ 4-8	无机定性分析概论	273
第五章 定量分析概论		
§ 5-1	定量分析方法的分类	293
§ 5-2	分析天平	294
§ 5-3	分析结果的准确度	309
§ 5-4	容量分析概要	323
第六章 酸碱反应和酸碱滴定法		
§ 6-1	弱酸、弱碱溶液的酸度	338
§ 6-2	盐的水解	349
§ 6-3	缓冲溶液	360
§ 6-4	酸碱指示剂	371
§ 6-5	酸碱滴定法	376
§ 6-6	酸碱滴定法应用示例	388
第七章 络合反应和络合滴定法		
§ 7-1	络合物的基本概念	398
§ 7-2	络合物的类型和特点	407
§ 7-3	影响络合物稳定性的因素	419
§ 7-4	络合物在溶液中的离解平衡	426
§ 7-5	络合滴定法概述	432
§ 7-6	酸度对络合滴定的影响	441
§ 7-7	络合滴定中的指示剂	449
§ 7-8	络合滴定法的各种滴定方式	460
§ 7-9	提高络合滴定选择性的途径	464
§ 7-10	络合滴定法应用示例	482

目 录

第一章 化学的基本概念和定律

§ 1-1	化学的基本概念	3
§ 1-2	当量和当量定律	22
§ 1-3	质量作用定律和化学平衡	30

第二章 原子结构和分子结构

§ 2-1	原子的组成	49
§ 2-2	原子核外电子排布的规律	52
§ 2-3	元素周期律和原子的电子层结构	64
§ 2-4	元素的性质和原子结构的关系	83
§ 2-5	离子键和离子型化合物	92
§ 2-6	共价键和共价键物质	101

第三章 溶液

§ 3-1	水	116
§ 3-2	溶液	120
§ 3-3	溶液的浓度	123
§ 3-4	电解质溶液和电离平衡	126
§ 3-5	胶体溶液	142

第四章 元素和化合物

§ 4-1	碱金属和碱土金属	148
§ 4-2	卤素	160
§ 4-3	氧族元素	171
§ 4-4	第三、四、五主族元素	184
§ 4-5	铜分族和锌分族	220
§ 4-6	过渡元素	237
§ 4-7	希土元素	268

§ 4-8	无机定性分析概论	273
第五章 定量分析概论		
§ 5-1	定量分析方法的分类	293
§ 5-2	分析天平	294
§ 5-3	分析结果的准确度	309
§ 5-4	容量分析概要	323
第六章 酸碱反应和酸碱滴定法		
§ 6-1	弱酸、弱碱溶液的酸度	338
§ 6-2	盐的水解	349
§ 6-3	缓冲溶液	360
§ 6-4	酸碱指示剂	371
§ 6-5	酸碱滴定法	376
§ 6-6	酸碱滴定法应用示例	388
第七章 络合反应和络合滴定法		
§ 7-1	络合物的基本概念	398
§ 7-2	络合物的类型和特点	407
§ 7-3	影响络合物稳定性的因素	419
§ 7-4	络合物在溶液中的离解平衡	426
§ 7-5	络合滴定法概述	432
§ 7-6	酸度对络合滴定的影响	441
§ 7-7	络合滴定中的指示剂	449
§ 7-8	络合滴定法的各种滴定方式	460
§ 7-9	提高络合滴定选择性的途径	464
§ 7-10	络合滴定法应用示例	482

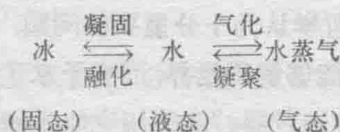
第一章 化学的基本概念和定律

§ 1-1 化学的基本概念

物质的变化 世界是物质的。物质是在不断运动的。人们在参加三大革命实践和日常生活中,时时刻刻都和物质接触,与周围事物紧密联系,所以人们对于“物质是作用于我们的感官而引起感觉的东西;物质是我们通过感觉感知的客观实在”这一科学论断有着深刻的体会。

世界上没有不运动的物质,也没有无物质的运动。毛主席指出:“人的认识物质,就是认识物质的运动形式,因为除了运动的物质以外,世界上什么也没有,而物质的运动则必取一定的形式。”物质的运动形式是多种多样的。化学主要是研究物质的化学运动形式。

我们知道,物质通常有三种聚集状态,即固态、液态和气态。在一定条件下,这三种状态可以相互转化。例如,我们常用的水是液体,在常压下,当气温下降到 0°C 时,水就会结成冰,这时水由液态转变为固态;在一个大气压力下,将水加热到 100°C 时,水就会沸腾而产生水蒸气,这时水由液态转变为气态;所以水的运动形式包括着液态水、冰、水蒸气这三种形态的相互转化。它们之间的关系可以表示如下:



在转化过程中，水的形态虽然发生了变化，但水的本质没有改变，并未变成别的物质。这种只改变物质的形态，而不改变物质的本质，即没有生成新物质的运动形式，叫做物理变化。

在生产斗争和日常生活中，我们也常常碰到另一类物质的变化现象。例如，煤炭的燃烧，碳和空气中的氧相互作用生成气体，并产生热和光；石灰石在窑中煅烧，会生成生石灰和二氧化碳气体。这类物质变化的共同特点是原物质的组成发生了改变，转变成新的物质。这种由于物质本质的改变而生成新物质的运动形式，叫做化学变化。

化学变化和物理变化虽然有本质上的差别，但它们之间却是相互依存，相互联系的。物质在发生化学变化的时候，必定伴随着物理的变化。例如，煤炭燃烧生成气体的反应，煤炭不仅变成了新的物质，组成发生了变化，而且它的形态也发生了变化。

世界上的物质，各色各样，种类繁多，我们怎样去识别它们呢？原来每种物质都有它一定的性质。例如，状态、颜色、气味、硬度、比重、熔点、沸点、溶解性等等，这些性质叫做物理性质。物质在发生化学变化时所表现出来的一些性质，例如，煤炭能够燃烧，就是碳和氧相互化合时所表现出来的性质，这种性质叫做化学性质。象这类的化学反应叫做化合反应。又如，石灰石加热分解成生石灰和二氧化碳就是石灰石的化学性质，象这类的化学反应叫做分解反应。

同种物质具有相同的性质，不同的物质具有不同的性质。因此，我们可以根据物质的性质来识别它们。这说明了人们通过三大革命实践是可以认识物质及其运动的规律性的。毛主席教导我们：“马克思主义的哲学认为十分重要的问题，不在于懂得了客观世界的规律性，因而能够解释世界，而在于拿了这种对于客观规律性的认识去能动地改造世界。”我们研究物质的化学变化及其规律

性,目的就是为了解决自然和改造自然,不断发展革命和生产的大好形势,坚持党的基本路线,巩固和加强无产阶级专政,为把我国建设成为社会主义的现代化强国而努力奋斗。

分子和原子 为什么物质会发生物理变化和化学变化,而不同的物质又具有不同的性质呢?要搞清楚这个问题,必须了解物质的内部结构。科学实验证明:大多数物质是由很小的微粒叫做分子构成的。例如,水是由水分子构成的;酒精是由酒精分子构成的;糖是由糖分子构成的;二氧化碳是由二氧化碳分子构成的;氨是由氨分子构成的,等等。我们知道,酒精能够燃烧,糖有甜味,二氧化碳能使石灰水变浑浊,氨有刺激性的气味,这说明不同种类的分子的性质不同,所以由不同种类分子构成的物质的性质也就不同。

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 $2.8 \text{ \AA}$, $1 \text{ \AA} = 10^{-8}$ 厘米)。如果我们把水分子放大一千万倍,它也不过只有绿豆那样大小。分子这么小,虽然用肉眼看不见,但是,通过许多现象,我们可以觉察到分子确实是存在的。例如,湿的衣服可以晾干,在阳光下干得更快,这说明水分子蒸发变成了气体,温度越高时,它的蒸发速度越快。贫下中农施氨水化肥时,由于氨分子具有挥发性,它不断飞散到空气中,所以田里周围就会嗅到氨的气味。

物质在发生物理变化时,它的分子没有发生质的变化。例如,水加热变成水蒸气时,水由液态变为气态,只是形态变了,而水分子没有改变。所以分子是能够独立存在并保持原物质基本化学性质的最小微粒。

物质在发生化学变化时,分子就会发生质的变化,转变为新物质的分子。例如,电解水时生成氢气和氧气,水的分子就变成性质

完全不同的氢分子和氧分子了。

从辩证唯物主义的观点来看，物质是无限可分的。科学实验证明，物质可以分成分子，分子又可以分成比它还小的叫做原子的微粒。例如，每个水分子可以分为两个氢原子和一个氧原子，换句话说，每个水分子是由两个氢原子和一个氧原子组成的。每个氢分子是由两个氢原子组成的。每个氧分子是由两个氧原子组成的。所以，物质的分子是由一定种类、一定数目的原子组成的。有些物质，例如金属、碳、硅等，它们是由原子直接构成的。

原子和分子不同。在化学变化中，分子发生了变化，旧的分子分裂了，新的分子形成了。原子不发生质变，并没有变成新的原子。就是说，一种原子不能变成另一种原子。如铁原子不能变成铜原子，碳原子不能变成氧原子。因此，原子是物质参加化学反应的一种基本微粒。

恩格斯在《自然辩证法》一书中，一方面称化学为“关于原子运动的科学”，另一方面又称化学变化为“永恒的分子变化”，深刻地阐明了物质化学运动的特殊本质，就是“原子的化合和分解”。

随着科学的发展，原子还可以分成比它更微小的各种基本粒子。关于原子结构和分子结构问题，将在第二章中进行讨论。

原子量和分子量

(一) 原子量

物质是由分子、原子构成的。既然物质有重量，所以分子、原子也有一定的重量。不过原子的重量非常小，例如，碳¹²、氧、氢三种原子的重量如下：

$$1 \text{ 个碳}^{12} \text{ 原子的重量} = 1.992 \times 10^{-23} \text{ 克}$$

$$1 \text{ 个氧原子的重量} = 2.656 \times 10^{-23} \text{ 克}$$

$$1 \text{ 个氢原子的重量} = 1.67 \times 10^{-24} \text{ 克}$$

显然，这么小的数字，使用和计算都很不方便，所以需要采用一种

标准的重量单位来统一计算才较为合适。现在科学上采用碳¹²原子重量的十二分之一,作为量度原子量的重量单位,这种特殊的重量单位叫做“碳单位”。用碳单位来表示1个原子的相对重量叫做原子量。

$$\begin{aligned} 1 \text{ 个碳单位} &= \frac{1 \text{ 个碳}^{12} \text{ 原子的重量}}{12} \\ &= \frac{1.992 \times 10^{-23}}{12} \\ &= 1.66 \times 10^{-24} \text{ 克} \end{aligned}$$

根据上面的数字,可以计算出氧、氢的原子量如下:

$$\begin{aligned} \frac{1 \text{ 个氧原子的重量}}{1 \text{ 个碳单位的重量}} &= \frac{2.656 \times 10^{-23} \text{ 克}}{1.66 \times 10^{-24} \text{ 克}} = 16.00 \\ \frac{1 \text{ 个氢原子的重量}}{1 \text{ 个碳单位的重量}} &= \frac{1.67 \times 10^{-24} \text{ 克}}{1.66 \times 10^{-24} \text{ 克}} = 1.008 \end{aligned}$$

可见,1个氧原子的重量是1个碳单位的16.00倍,所以氧的原子量是16.00个碳单位。1个氢原子的重量是1个碳单位的1.008倍,所以氢的原子量是1.008个碳单位。

在实际应用原子量时,常把碳单位三个字省去。如氧的原子量是16.00,氢的原子量是1.008。

各种原子的精确原子量可以从国际原子量表或元素周期表中查得。在化学分析的计算中,原子量的数值一般只取四位数字就够了。

(二) 分子量

原子有一定的重量,所以由原子构成的分子也有一定的重量。分子的重量等于组成它的所有原子重量的总和。例如:

氢分子是由2个氢原子组成的,所以氢的分子量是

$$1.008 \times 2 = 2.016;$$

氧分子是由2个氧原子组成的,所以氧的分子量是

$$16.00 \times 2 = 32.00;$$

水分子是由 2 个氢原子和 1 个氧原子组成的，所以水的分子量是 $1.008 \times 2 + 16.00 = 18.02$ ；

二氧化碳分子是由 1 个碳原子和 2 个氧原子组成的，所以二氧化碳的分子量是 $12.01 + 16.00 \times 2 = 44.01$ 。

关于物质的分子量问题，下面还要进一步地讨论。

元素、元素符号和分子式

(一) 元素、元素符号

我们知道，氧分子中有氧原子，水分子中也有氧原子，二氧化碳分子中也含有氧原子，无论氧原子存在于哪种物质的分子中，也不管氧原子的个数有多少，反正氧原子都是同种类的，同种类原子的化学性质相同。我们把同种类的原子叫做元素。严格地讲，元素是具有相同质子数的一类原子的总称(参看 § 2-1)。因此，同种类的氧原子就叫做氧元素，同种类的氢原子就叫做氢元素，同种类的碳原子就叫做碳元素，依此类推。这样，我们可以说，氧气是由氧元素组成的，水是由氢和氧两种元素组成的，二氧化碳是由碳和氧两种元素组成的。

在自然界里，物质的种类极多，有天然物质，也有人工合成的产物，但构成这些物质的元素有多少呢？到目前为止，已经知道的元素有 105 种。

为了科学研究和使用方便，各种元素常用一定的符号来表示。例如：氢元素用 H 表示；氧元素用 O 表示；碳元素用 C 表示；氟元素用 F 表示；铁元素用 Fe 表示；钴元素用 Co 表示。这些符号叫做元素符号。

元素的符号，国际上统一采用元素的拉丁文名称的第一个大写字母来表示，或采用元素名称的第一个大写字母和另一个小写字母来表示。所以，元素的符号，有的是一个字母，有的是两个字母。用一个字母表示的，这个字母必须大写，如氢、氧、碳、氟等元

素的符号分别用大写字母H、O、C、F表示。如果几种元素名称的第一个字母相同,为了表示区别,就需再加上一个小写的字母,这样就用两个字母来表示,第一个字母同样要大写,第二个字母必须小写,如钴元素符号Co的C要大写, o要小写,若写成CO那就错了,因为CO是表示碳和氧两种元素组成的一氧化碳分子。与此相反,若把一氧化碳写成Co,把氧元素符号写成小写字母o,也是错误的。

元素符号一般有三种含义:

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H表示氢元素、一个氢原子和它的原子量为1.008; Fe这个符号表示铁元素、一个铁原子和它的原子量为55.85。

各种元素的名称、符号和原子量见元素周期表。常见的一些元素符号,应通过实践逐步熟悉,并能正确地书写出来,以便今后的学习和运用。

根据元素的不同性质,一般可分为金属元素和非金属元素两大类。例如,铁、铜、铝、镁等都是金属元素;氧、氯、硫、碳等都是非金属元素。金属元素一般都能导电、传热,有延展性,有金属光泽,常温下都是固体(只有汞是液体)。非金属元素一般不能导电、不能传热、没有金属光泽。但是,元素的金属性和非金属性也是相对的,例如,作为半导体材料的锗和硅,它们就兼有金属和非金属的性质。

根据物质中组成元素的种类,纯净的物质一般可分为单质和化合物两大类。由同一种元素组成的物质叫做单质,例如,铁、铜、硫、氧气等。由不同元素组成的物质叫做化合物,例如,水是由氢

和氧两种元素组成的；氯化钠是由钠和氯两种元素组成的；硫酸是由氢、硫、氧三种元素组成的。所以，水、氯化钠、硫酸就叫做化合物。

(二) 分子式

科学实验证明，单质或化合物中元素的原子数目是一定的，就是说，纯物质都具有固定的组成。为了研究和使用上的方便，我们常用元素符号来表示单质或化合物的组成。化学上用元素符号来表示物质分子组成的式子叫做分子式。例如，氢气、氧气、水、二氧化碳的分子式分别是 H_2 、 O_2 、 H_2O 、 CO_2 。

下面以水的分子式 H_2O 为例，说明分子式的含义：

1. 表示物质的 1 个分子： H_2O 表示 1 个水分子。
2. 表示物质的组成元素： H_2O 表示水由氢和氧两种元素组成。
3. 表示 1 个分子物质中各种元素的原子个数： H_2O 表示 1 个水分子中含有 2 个氢原子和 1 个氧原子。
4. 表示物质的分子量： H_2O 表示水的分子量是 $1.008 \times 2 + 16.00 \times 1 = 18.02$ 。
5. 表示物质中各组成元素的重量比： H_2O 表示水分子中氢和氧的重量比是 $1.008 \times 2 : 16.00 \times 1 = 1.008 : 8$ 。

此外，根据化合物的分子式，还可以计算出化合物中各元素的重量百分比。例如，水分子中氢和氧的重量百分比可计算如下：

因为水的分子量 = 18.02，所以

$$\text{氢的重量百分比} = \frac{1.008 \times 2}{18.02} \times 100\% = 11.20\%$$

$$\text{氧的重量百分比} = \frac{16.00 \times 1}{18.02} \times 100\% = 88.80\%$$

应该注意，化合物的分子式，是通过实验测定了物质的组成之

后得出来的，它能正确地反映该物质的分子量，所以它是符合实际的。我们在写分子式的时候，一定要尊重客观事实，不能凭空臆造。

有一些物质(如铁、碳、氯化钠等)实际上不是以分子的状态存在的，所以用元素符号来表示这些物质组成的式子，就不是分子式，可以叫做化学式。因为金属、惰性气体以及碳、硅等单质是由原子直接构成的，硫、磷等非金属单质的分子组成比较复杂，所以这些物质的化学式就用它们的元素符号来表示。例如，铁、碳、硅、硫、磷、氦、氖的化学式分别为 Fe、C、Si、S、P、He、Ne。

氯化钠的化学式是 NaCl，它表示氯化钠是由钠和氯两种元素构成的，而且钠和氯的化合比为 1:1。但它不能反映氯化钠的分子量，因为氯化钠不是以分子的状态存在，所以 NaCl 不应叫做氯化钠的分子式。组成氯化钠的钠原子量和氯原子量的总和，也就不应叫作分子量，可以把它叫做化学式量(或式量)。所谓式量就是化学式中各种元素原子量的总和。如 NaCl 的式量 = $22.99 + 35.45 = 58.44$ ；氢氧化钠 NaOH 的式量 = $22.99 + 17.01 = 40.00$ 。

分子式和化学式有什么关系呢？如果化学式能够正确地反映物质分子的组成，它所表示的重量(化学式量)又能反映物质的分子量，而且分子量是可以通过实验测得的，那么这个化学式就是分子式。

物质的分子式或化学式的具体写法，可以通过实践，由不知到知，由知之不多到知之较多，逐步熟悉和掌握。我们不仅要能正确地写出元素的符号、物质的分子式或化学式，还要学会计算分子量或式量的方法。如果把一些常用物质的分子量或式量先计算出来，列成一个表，使用时是比较方便的。

应该指出，分子式相同的物质，不等于说它们的性质都是相同的。有许多物质的分子组成(分子式)相同，但结构不同，所以性质

也就不同。这种现象在有机化合物中是相当普遍的。

化合价和化学方程式

(一) 化合价

我们已经知道，化合物中各种元素的原子数目是一定的。例如，一个原子的氯、氧、氮分别与氢原子化合时，生成氯化氢、水、氨分子，它们的分子式如下：



从上面这些分子式可以看出，一个氯原子和一个氢原子化合成氯化氢分子，一个氧原子和两个氢原子化合成水分子，一个氮原子和三个氢原子化合成氨分子。显然氯、氧、氮等元素的原子和氢原子的化合能力是不同的。我们把元素的原子之间按一定数目相互化合的性质，叫做元素的化合价。通常把氢元素的化合价定为 1 价，某元素的一个原子所能结合或置换的氢原子数，就叫做该元素的化合价。在上述化合物中，氯、氧、氮等元素所能结合的氢原子数分别是 1、2、3 个，因此，氯元素是 1 价，氧元素是 2 价，氮元素是 3 价。

元素的原子相互化合时，不是简单的结合，矛盾的双方是有斗争的，同时又各以和它对立着的方面为自己存在的前提，双方共处于一个统一体中。因此，化合物中元素的化合价可以分为对立的两部分：一部分为正价；另一部分为负价。这就是说，化合价有正价和负价的区别。氢元素一般显 +1 价，氧元素通常显 -2 价。金属元素一般都显正价。非金属元素和金属元素或氢化合时显负价，而非金属元素（除氟外）和氧化合时一般显正价。下面举例加以说明。

在 HCl 分子中，氢是 +1 价，氯是 -1 价。

在 H_2O 分子中，两个氢原子共是 +2 价，氧是 -2 价。

在 NH_3 分子中，三个氢原子共是 +3 价，氮就是 -3 价。