

火力发电厂基础化学

上 册

武汉水利电力学院 基础化学 教研室
电厂化学

水利电力出版社

前 言

在实现我国四个现代化的整个过程中，电力工业将以更快的速度向前发展。为了保证火力发电厂高参数、大容量发电机组的顺利投运和提高现有机组的安全经济运行水平，对锅炉给水的品质、设备的防垢、防腐，以及化学分析的精度等要求将更为严格。为了实现电力工业的现代化，火力发电厂将不断广泛采用先进技术。因此，从事电厂化学工人的技术水平，也必须不断地相应提高，以适应生产发展的需要。

目前，我国发电厂的广大化学工人，正以极大的革命热情，努力钻研业务，争取为实现四个现代化多作贡献。要掌握电厂化学专业技术，首先必须学好有关化学基础理论知识。为此，我们组织编写了《火力发电厂基础化学》这本书，以供具有初中以上文化程度的电厂化学工人自学或作为培训教材，并可供有关专业的化学工人参考。编写本书时，力求密切结合电厂化学专业实际，内容由浅入深，文字通畅易懂，希望能为读者进一步学习化学分析、水处理技术和设备的防垢、防腐知识打下必要的基础。

本书分上、下两册。上册主要包括：化学基本知识，无机化合物的分类及性质，物质结构基本知识，周期律与周期系，化学平衡，溶液及电化学等；下册主要包括：络合物，胶体化学，非金属和金属元素及其化合物，有机化学和高分子有机化合物的基本知识，以及火电厂中常用的有机材料和试剂（如离子交换树脂、指示剂、缓蚀剂、添加剂和表面活性剂等）。

参加本书无机部分编写的有：钟金昌、范裕钊、李良智、张家骅、靳兴玉和许崇武等同志，最后由王杏卿同志统编；有机部分由那澍霖同志编写。在编写过程中，得到了许多电厂、电力科

研单位、兄弟院校等有关同志的大力支持和热情帮助，在此表示衷心感谢。

由于我们水平有限，书中错漏和不妥之处在所难免，诚恳希望读者批评指正。

基础化学
武汉水利电力学院 教研室
电厂化学

1979年9月

目 录

前 言

第一章 化学基本概念	1
第一节 物质	1
第二节 分子和原子	2
一、组成物质的分子和原子 二、原子的组成 三、原子量和 分子量	
第三节 元素、单质、化合物和混合物	5
一、元素 二、单质和化合物 三、纯物质和混合物	
第四节 分子式和化合价	9
一、分子式 二、化合价	
第五节 克原子和克分子	14
一、克原子 二、克分子	
第六节 化学方程式	16
一、物质不灭定律 二、化学方程式 三、运用化学方程式的 有关计算	
第七节 空气、氢气、气体克分子体积和气体方程式	19
一、空气 二、氢气 三、气体的克分子体积 四、理想气体 方程式	
习题	30
第二章 碱、酸、盐和氧化物	32
第一节 碱	32
一、碱的组成和命名 二、碱的共性 三、常用的碱	
第二节 酸	37
一、酸的组成、分类和命名 二、酸的共性 三、常用的酸	
第三节 盐	44
一、盐的组成、分类和命名 二、盐的性质 三、电厂中一些 常用的盐	

第四节 氧化物	49
一、氧化物的组成和命名 二、氧化物的分类和性质 三、电 厂中一些常用的氧化物	
习题	54
第三章 原子结构和元素周期律	56
第一节 原子结构和核外电子的运动状态	56
一、电子云的概念 二、核外电子的运动状态	
第二节 原子核外电子的排布规律	61
一、能量最低原理 二、保利不相容原理 三、洪特原理	
第三节 元素周期律和原子的电子层结构	68
一、元素周期律和元素周期表 二、周期系和原子的电子层结 构	
第四节 元素的性质和原子结构的关系	71
一、元素的金属性和非金属性 二、元素的化合价	
习题	78
第四章 化学键和物质结构	80
第一节 化学键	80
一、离子键 二、共价键 三、配位键 四、氧化值	
第二节 分子的类型	92
第三节 分子间的作用力和氢键	95
一、分子间的作用力 二、氢键	
第四节 晶体结构	99
一、晶体的特征 二、晶体的主要类型	
习题	105
第五章 化学反应速度和化学平衡	106
第一节 化学反应速度	106
一、影响反应速度的主要因素 二、活化分子和活化能 三、不均匀体系的反应速度	
第二节 化学平衡	113
一、可逆反应和化学平衡 二、平衡常数	
第三节 化学平衡的移动	118
一、浓度对化学平衡的影响 二、压力对化学平衡的影响 三、温度对化学平衡的影响	
习题	123

第六章 水和溶液	125
第一节 水	125
一、水中的杂质 二、水的一般性质	
第二节 过氧化氢	133
一、过氧化氢的性质 二、过氧化氢的用途	
第三节 溶液的一般概念	135
一、溶液和浊液 二、形成溶液的过程	
第四节 溶解度	137
一、固体物质在水中的溶解度 二、液体物质在水中的溶解度	
三、气体物质在水中的溶解度	
第五节 溶液的浓度	144
一、百分浓度 二、克分子浓度 三、当量浓度 四、其它	
几种浓度 五、浓度的换算	
第六节 稀溶液的通性	158
一、溶液的蒸汽压下降 二、溶液的沸点升高和凝固点下降	
三、溶液的渗透压	
习题	166
第七章 电解质溶液和电离平衡	169
第一节 电解质及其电离	169
一、电解质和非电解质 二、强电解质和弱电解质 三、电离	
度	
第二节 弱电解质的电离平衡	177
一、电离平衡常数 二、多元弱酸的电离 三、水的离子积与	
溶液的 pH 值	
第三节 同离子效应和缓冲溶液	184
一、同离子效应 二、缓冲溶液	
第四节 离子互换反应	195
一、离子反应方程式 二、进行离子互换反应的条件	
第五节 多相离子平衡——沉淀和溶解	198
一、溶度积和溶度积原理 二、沉淀的生成和溶解	
第六节 盐的水解	205
一、盐的水解平衡 二、水解平衡常数 三、水解度	
四、盐类溶液 pH 值的计算 五、酸碱质子理论	
习题	216

第八章 氧化还原反应	219
第一节 氧化还原反应的基本概念	219
第二节 氧化还原方程式的配平	221
一、氧化值法 二、离子-电子法	
第三节 氧化还原当量	226
习题	228
第九章 溶液的电导	230
第一节 电导及电导测定	230
一、导电体 二、电解质溶液的导电过程 三、电极的命名	
四、电导、电导率、当量电导 五、电导的测定	
第二节 离子淌度和离子迁移数	241
一、离子淌度 二、离子的迁移数 三、离子独立运动定律	
第三节 电导测定的应用	248
一、判别水的纯度 二、测定难溶盐类的溶解度 三、电导滴	
定	
第四节 强电解质溶液	253
一、离子相互作用理论 二、活度和活度系数	
习题	257
第十章 原电池	259
第一节 原电池的电动势	259
一、原电池产生电动势的机理 二、液体接界电位的产生和消除	
三、原电池的符号表示法 四、可逆电池和不可逆电池	
第二节 电动势的测定	267
一、对消法(又称补偿法或抵消法)测定电动势的原理 二、对消	
法中用的标准电池	
第三节 电极电位	270
一、标准氢电极和标准电极电位 二、能斯特公式 三、电极	
电位的应用	
第四节 可逆电极的种类	277
一、金属电极 二、气体电极 三、沉积电极 四、氧化	
还原电极	
第五节 浓差电池	282
一、溶液浓度不同的浓差电池 二、电极材料浓度不同的浓差电	
池	

第六节 电动势测定的应用	285
一、测定溶液的 pH 值 二、测定溶液的 pNa 值 三、电位滴定	
第七节 化学电源	290
一、锌锰干电池 二、铅蓄电池	
习题	292
第十一章 电解和极化	294
第一节 分解电压	294
一、实际分解电压 二、理论分解电压	
第二节 极化和超电压	297
一、极化 二、超电压	
第三节 电解池的电极反应和法拉第电解定律	301
一、电解池的电极反应 二、法拉第电解定律	
第四节 金属的腐蚀和防腐	307
一、金属的电化学腐蚀 二、原电池的极化作用 三、影响腐蚀的因素 四、金属腐蚀的防止	
习题	316
附录	317
习题答案	328

第一章

化学基本概念

化学是研究物质及其变化的科学。要了解和研究物质及其变化，首先应掌握它们的有关基本知识。本章主要讲述原子、分子、原子量、分子量、元素符号、化合物的分子式和化学反应方程式等基本知识，以及空气的组分和性质、理想气体状态方程式的推导和应用。

第一节 物 质

自然界是由物质构成的。物质是我们感觉到的客观实在，如水、煤、油、空气、食盐和钢铁等都是客观存在的具体物质。

一切物质都在不停地运动和变化着，而物质变化的形式是多种多样的：有物理的、化学的和生物的等等。物质发生变化时，有时有新物质生成，有时没有新物质生成。如水受热变为蒸汽，蒸汽冷却又变成水，水冷却变成冰，冰受热又变成水。水、蒸汽和冰，尽管聚集状态不同，但属同一种物质，这种仅聚集状态发生改变，而没有生成新物质的变化，叫做物理变化。凭人们的感官或用物理方法就能认识的物质性质，叫做物理性质，如颜色、气味、状态、沸点、熔点和溶解性等。物质在发生变化时有新物质产生的变化，叫做化学变化，通常也叫化学反应。物质在化学变化中所表现出来的性质叫做化学性质，如碳燃烧时所表现出来的化学性质为碳与氧相互反应生成二氧化碳。

化学变化和物理变化虽然有本质的区别，但它们也不是相互孤立毫无联系的。物质在发生化学变化的同时，常常伴随着物理变化，例如蜡烛燃烧时首先是固体蜡受热熔化（物理变化），然

后燃烧成二氧化碳气体和水蒸气（化学变化）。

世界上的物质有千千万万，人们就是根据不同物质具有不同性质去认识和区别它们的。

第二节 分子和原子

一、组成物质的分子和原子

科学实践证明，一切物质都是由分子组成的。分子是能够独立存在并保持原物质化学性质的最小微粒。同种物质分子的化学性质相同，不同种物质分子的化学性质不同。酒精可以燃烧，而水不能燃烧，就是因为酒精分子和水分子不同，各具有不同的化学性质。

分子的重量和体积都很小，分子虽然肉眼看不到，但却能察觉到它是真实存在的，并且还在不断地运动着。例如打开氨水瓶，周围就可闻到氨味；箱子里放了樟脑，打开箱子就可闻到樟脑味。所以能闻到氨和樟脑的气味，是由于氨的分子和樟脑的分子逸至空间作用于我们的嗅觉所致。随着科学技术的发展，人们已能用电子显微镜观察到较大的分子，如蛋白质等。

物质在发生物理变化时，它的分子没有质的变化。例如水加热变成水蒸气时，分子没有改变，只是分子运动加剧，分子之间的距离增大，由液态变成了气态。但物质在发生化学变化时，分子就会发生质的变化，成为新物质的分子。例如电解水时生成氢气和氧气，这时水分子就变成与其性质完全不同的氢分子和氧分子了。显然，氢、氧分子是由组成水分子的两种不同的微粒形成的。由此可知，分子虽很小，但仍是由更小的微粒组成的，这种微粒在化学反应中再也不可能分割或转变为其它的微粒。我们把这些在化学反应中不起质的变化的微粒称为原子^①。从水的电解

① 原子只是在一般化学变化时，不再能分割和转变，但在特殊变化（核反应）时，却是可以分割和转变的。

可知,水分子是由两种不同的原子组成的,即由二个氢原子和一个氧原子组成。电解时水中的氧原子相互结合成为氧分子(两个氧原子组成),氢原子则相互结合为氢分子(两个氢原子组成)。不论是水分子中的氧原子或氧分子中的氧原子,性质都相同,即在不同分子中的同种原子,其性质是相同的。

二、原子的组成

原子由原子核和核外电子两部分组成。原子核在 原 子 的 中 心,带有正电荷,它在整个原子中所占的体积非常小,其直径约等于原子直径的十万分之一;核外电子则在原子核周围的空间绕核作高速运动,带有负电荷(电量是 1.602×10^{-19} 库仑)。电子的质量很小,约等于最轻的氢原子核质量的 $\frac{1}{1837}$,因此,原子的重量主要集中在原子核上。电子的直径比原子核的还要小,因此原子核和电子只占整个原子所占空间的极小一部分,也就是说,原子内部绝大部分是空的。

原子核又由两种微粒组成:一种是质子,带有一个正电荷,其电量和电子的电量相等,但符号相反,质量约为电子的1837倍;另一种是中子,不带电荷,其质量和质子的几乎相等。因此,原子核中的质子数决定了原子核的电荷数(核电荷数),原子核中的质子数和中子数,决定了原子的重量。核电荷数和核外电子数是相等的,所以原子不显电性。如氢的原子核中只有1个质子,即其核电荷数是1,核外就只有1个电子绕核运动,如图1-1所示;氧的原子核中有8个质子,即其核电荷数是8,核外就有8个电子绕核运动。

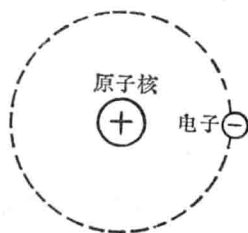


图 1-1 氢原子结构示意图

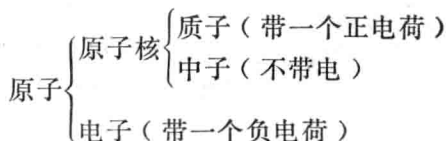
核电荷数不同的原子,其核外电子数也不同,它们的重量和性质也各不相同。核电荷数相同的原子,它们的核外电子数相同,化学性质也相同。核电荷数相同的一类原子称为某元素。如

核电荷数为 1 的一类原子，称为氢元素；核电荷数为 8 的一类原子，称为氧元素。

在原子中同时存在着两种力：一种是由于原子核带正电荷，电子带负电荷，核和电子间有相互吸引的力；另一种是由于电子以极高的速度绕核运动，电子有离开原子核的倾向，这样就使原子核和电子处在相对稳定的状态。然而在一定条件下，原子也会失去或得到一部分电子而成为带电荷的微粒：失去电子后成为带正电荷的微粒，称为正离子（或阳离子）；得到电子后成为带负电荷的微粒，称为负离子（或阴离子）。

由于每种元素原子的核电荷数都不相同，我们把各种原子按其核电荷数从小到大排列的序号叫做原子序数。因元素原子的核电荷数是从 1 开始，逐一增加的，即核电荷数是以 1、2、3……递增的，所以原子序数和核电荷数的数值相等。如氢原子的核电荷数为 1，其原子序数也为 1；氧原子的核电荷数为 8，其原子序数也为 8。

原子的组成可概括如下：



原子序数 = 核中质子数（核电荷数） = 核外电子数

三、原子量和分子量

各种元素每个原子的重量都是很小的，例如碳、氧和氢三种原子的重量为：

1 个碳¹²①原子的重量 = 1.992×10^{-23} 克

1 个氧原子的重量 = 2.656×10^{-23} 克

1 个氢原子的重量 = 1.67×10^{-24} 克

对于一定重量的物质来说，单位愈小，重量的数值就愈大，

① 碳¹²是原子核中有 6 个质子、6 个中子的碳原子。

相反单位愈大，则数值愈小。由上面所列的数值来看，如用克做单位来表示原子的重量时，单位太大，数值太小，使用和计算很不方便。现在国际上采用“碳单位”，它是一个碳12原子重量的 $\frac{1}{12}$ ，即一个碳12原子的重量（ 1.99×10^{-23} ）克等于12个碳单位，碳单位的绝对量是很小的：

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

用碳单位表示原子的重量时：

$$1 \text{ 个氧原子的重量} = \frac{2.656 \times 10^{-23}}{1.66 \times 10^{-24}} \approx 16 \text{ ① 碳单位}$$

$$1 \text{ 个氢原子的重量} = \frac{1.67 \times 10^{-24}}{1.66 \times 10^{-24}} \approx 1 \text{ ① 碳单位}$$

用碳单位表示某元素的一个原子重量，叫做该元素的原子量（使用时，“碳单位”三字可省略）。故氧的原子量为16，氢的原子量为1。

分子由原子组成，分子的重量就应等于组成分子的各原子重量之和，因此分子的重量也同样用碳单位来表示。用碳单位所表示的某物质一个分子的重量，叫做此物质的分子量（通常在使用时也将“碳单位”三字省略）。例如：一个氧分子由两个氧原子组成，所以氧的分子量 $\approx 16 \times 2 = 32$ 。一个水分子由二个氢原子和一个氧原子组成，所以水的分子量 $\approx 1 \times 2 + 16 = 18$ 。

第三节 元素、单质、化合物和混合物

一、元素

核电荷数相同（质子数相同，中子数不一定相同）的一类原子，总称为某元素。元素不是指某种具体物质中某个具体原子，

① 氧的原子量为15.9994接近16。氢的原子量为1.00797接近1。

而是一类原子的总称。

物质的种类虽然有几百万种，但构成这些物质的元素却不多，到目前为止，已发现的有107种（其中14种是人工合成的）。元素大致可分为金属元素和非金属元素两大类。各元素在自然界中存在的量是不同的，如图1-2所示，地壳（包括大气层和水层）中以氧最多，硅次之。

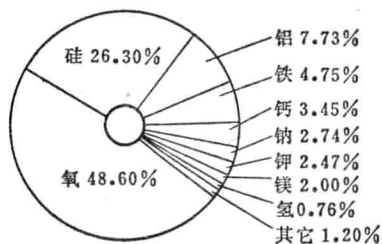


图 1-2 地壳中主要元素的百分含量

的名称和符号应熟读记牢。书写元素符号时，如果符号只有一个字母应用大写，如果符号有两个字母，则第一个字母用大写，第二个字母必须用小写，如钴元素用“Co”表示，铜元素用“Cu”表示。

元素符号表示下列三种意义：

- (1) 表示此元素的名称；
- (2) 表示此元素的一个原子；
- (3) 表示此元素的原子量。

例如，元素符号“O”，既表示氧元素，又表示一个氧原子和氧的原子量（等于16）。

在同一种元素的原子中，质子数和原子数必然相同，中子数可以不同。当中子数不同时，它们的质量也就不同。例如碳原子的质子数是6，但中子数有6、7、8三种，所以就有原子量为12、13、14三种不同的碳原子。为了区别它们，一般在元素符号的左下角标出质子数（也可把此数字省略），右上角标出质子和中子的总数（叫做质量数）。例如：

${}_6\text{C}^{12}$ (质子数为 6, 中子数为 6)

${}_6\text{C}^{13}$ (质子数为 6, 中子数为 7)

${}_6\text{C}^{14}$ (质子数为 6, 中子数为 8)

象这样质子数相同而中子数不同的同种元素的几种原子, 叫做该元素的同位素。例如 ${}_6\text{C}^{12}$ 、 ${}_6\text{C}^{13}$ 、 ${}_6\text{C}^{14}$ 就是C元素的三种同位素。

几乎所有的元素都有同位素, 只是数目多少不同而已。同一元素的几种同位素在自然界中的含量各不相同, 但每种自然界存在元素的各种同位素所占的百分比几乎是一定的。例如碳元素的三种同位素, 除 ${}_6\text{C}^{14}$ 是人造的放射性同位素外, 自然界中的碳含有 ${}_6\text{C}^{12}$ 和 ${}_6\text{C}^{13}$ 两种同位素, 在碳元素总量中所占的百分数分别是98.892%和1.112%。又如氢元素有三种同位素: ${}_1\text{H}^1$ 是普通的氢, 占自然界中氢的99%以上; ${}_1\text{H}^2$ 叫氘(音刀, 符号D)又叫重氢, 在自然界的氢中只占少量; ${}_1\text{H}^3$ 叫氚(音川, 符号T)又叫超重氢, 在自然界的氢中含量极微, 但可由核反应制得。

通常所说的原子量, 实际上是某种元素所含各种同位素的平均原子量。例如碳元素的原子量就是 C^{12} 和 C^{13} 两种同位素的平均原子量:

$$12 \times 98.892\% + 13 \times 1.112\% = 12.011$$

二、单质和化合物

纯物质的分子, 有的是由同一类元素组成, 有的则由不同种类的元素组成, 所以物质可分为单质和化合物两大类。

1. 单质分子。由同一种元素原子组成的物质叫做单质, 例如氧气(O_2)、氢气(H_2)和铁(Fe)等。单质又可分为金属(如铜和铁等)和非金属(如氧气和氢气等)两大类。金属一般能导电、传热, 有金属光泽, 有较好的延性(能抽成细丝)和展性(能轧成薄片), 常温下除汞是液体外, 其余都是固体。非金属一般不能传热、导电, 没有金属光泽, 常温下除溴是液体外, 其余都是固体或气体。然而金属与非金属之间并没有绝对的界限, 例如作为半导体材料的锗和硅, 它们就同时具有金属和非金

属的性质。

2. 化合物。分子由不同元素的原子组成的物质叫做化合物，例如水(H_2O)、二氧化碳(CO_2)和硫酸(H_2SO_4)等。化合物又可按其组成和性质的不同分为有机化合物和无机化合物两类。有机化合物是同时含碳、氢的化合物，如甲烷(CH_4)、酒精($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)、醋酸(CH_3COOH)等；无机化合物是不含或不同时含碳、氢的化合物，如水(H_2O)和二氧化碳(CO_2)等。

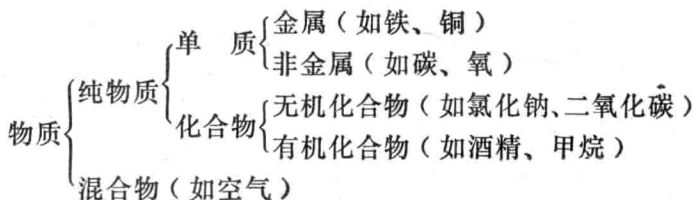
必须指出，元素和单质是两个不同的概念，不可混淆。单质是分子由同一类原子组成的物质，而元素只是一类原子的总称。因此，应说水分子含有氢元素和氧元素，而不能说水分子含有氢单质和氧单质；相反，我们说氧气是氧的单质是正确的，如果说氧气是氧元素，则是不正确的。

三、纯物质和混合物

物质可分为纯物质和混合物：由一种单质或一种化合物组成的物质叫纯物质，例如氧气、纯铜和纯氯化钠等；由两种以上不同的单质或化合物混合在一起组成的物质叫做混合物，例如空气等。在混合物中，各物质仍保持它们各自的性质，例如空气中的氧气仍保持其助燃的性质。

在自然界中绝对纯的物质实际上是不存在的，因为在任何纯物质中也仍然有微量的杂质，只是在化学反应中已可忽略不计而已。在化学上一般所讲物质如不加注明，就指的是纯物质。

综上所述，物质分类概括如下：



第四节 分子式和化合价

一、分子式

如前所述，某种物质的分子是由一定种类和一定数量的原子所组成，因此分子也可按其组成用相应的元素符号表示。这种用元素符号表示的物质分子组成的式子叫做分子式，例如，氢气、水和二氧化碳的分子式分别为 H_2 、 H_2O 和 CO_2 。

单质分子由同种元素的原子组成，写它的分子式时，先写出它的元素符号，在元素符号的右下角，写出组成分子的原子数。例如氧气的分子是由两个氧原子组成的，所以氧气的分子式为“ O_2 ”；惰性气体分子只有一个原子，所以它的分子式只用元素符号表示，例如氦气的分子式为 He 。

化合物的分子是由不同元素的原子所组成。它的分子式必须表明这些元素以及每种元素的原子个数。写它的分子式时，习惯上把金属元素符号写在左方，非金属元素符号写在右方（若是由非金属元素和氧元素组成的化合物，非金属元素符号写在左方，氧元素符号写在右方）。各元素的原子数分别写在该元素符号的右下方，若原子数是1则可省略。例如，氧化铁分子中含有两个铁原子和三个氧原子，所以它的分子式是 Fe_2O_3 ；二氧化硫分子中含有一个硫原子和二氧原子，所以它的分子式是 SO_2 。

各种物质的分子式，是用实验方法测定了它们的组成和分子量后得出来的，不能任意臆造。

必须指出，有许多单质和化合物，并不存在分子。例如金属铁是由许多铁原子组成的，但仍用元素符号“ Fe ”来表示，这并不表示它是单原子分子，只是说明它是由铁原子组成而已，其它金属也是这样。固体氯化钠实际上也不存在分子，而是由许多钠离子和氯离子组成，但钠离子和氯离子数的最简比是1:1，所以把它写为 NaCl 。这种只表示组成物质的各元素原子（或离子）数的最简比的式子，叫做化学式。化学式中各种原子量的总和称