

无机化学

上册

(试用教材)

吉林师范大学化学系无机组编

1973年7月

毛主席语录

教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合。

人们为着要在自然界里得到自由，就要用自然科学来了解自然，克服自然和改造自然，从自然里得到自由。

一个正确的认识，往往需要经过由物质到精神，由精神到物质，即由实践到认识，由认识到实践这样多次的反复，才能够完成。这就是马克思主义的认识论，就是辩证唯物论的认识论。

事物矛盾的法则，即对立统一的法则，是自然和社会的根本法则，因而也是思维的根本法则。

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 化学的研究对象和任务.....	(1)
第二节 分子和原子.....	(4)
第三节 化学反应的基本重量定律.....	(8)
第四节 化学式和化学方程式.....	(13)
习 题.....	(20)
第二章 氧, 空气和气体定律	(22)
第一节 氧.....	(22)
第二节 惰性气体.....	(28)
第三节 有关气体的定律.....	(31)
第四节 空气.....	(38)
习 题.....	(43)
第三章 氢和水	(45)
第一节 氢的性质和用途.....	(45)
第二节 氢的制备.....	(48)
第三节 水的净化.....	(50)
第四节 水的性质.....	(52)
第五节 过氧化氢.....	(61)
习 题.....	(64)
第四章 溶液	(66)
第一节 溶解过程.....	(66)
第二节 溶液的浓度.....	(69)
第三节 溶解度.....	(79)

第四节	结晶	(84)
第五节	稀溶液的通性	(87)
习 题		(94)
第五章	化学反应速度和化学平衡	(97)
第一节	化学反应速度	(97)
第二节	影响化学反应速度的主要因素 ——浓度、温度、催化剂	(99)
第三节	化学平衡	(100)
第四节	化学平衡的移动	(112)
第五节	化学反应速度与化学平衡原理 在化工生产上的应用	(119)
习 题		(121)
第六章	元素周期系和原子结构	(123)
第一节	元素周期律的发现	(123)
第二节	元素周期表	(127)
第三节	原子结构的复杂性	(130)
第四节	原子核外电子的运动状态	(135)
第五节	核外电子的排布与元素周期律	(146)
第六节	同位素 原子量标准	(154)
习 题		(156)
第七章	分子结构	(158)
第一节	元素争夺电子的能力和化学键的基本类型	(158)
第二节	离子键	(162)
第三节	共价键	(166)
第四节	分子间力和氢键	(180)
第五节	晶体结构	(185)
习 题		(196)
第八章	电解质溶液和离子平衡	(198)
第一节	电解质的电离	(198)
第二节	弱电解质溶液的电离平衡	(202)

第三节	强电解质在溶液中的状态	(215)
第四节	酸、碱、盐	(219)
第五节	水的离子积常数和PH值	(225)
第六节	盐类的水解	(229)
习 题		(236)

第一章 绪 论

第一节 化学的研究对象和任务

伟大领袖毛主席教导说：“科学研究的区分，就是根据科学对象所具有的特殊的矛盾性。因此，对于某一现象的领域所特有的某一种矛盾的研究，就构成某一门科学的对象。”这是我们认识科学分类的指导思想。

辩证唯物论认为，世界按其本质来说是物质的，世界上形形色色的现象都是运动着的物质的各种形态。那么什么是物质呢？列宁教导说：

“物质是作用于我们的感官而引起感觉的东西；物质是我们感觉到的客观实在。”物质就是在人的意识之外、并不依赖人的意识而存在的客观实在。如我们在日常生活里见到的煤、水、铁、食盐、石油、化肥、农药等都是物质。就是肉眼看不见的空气、分子、原子、电子等也是物质。当然，哲学上的物质观同自然科学的物质观并不完全相同。化学上所称的物质、主要的是指那些在一定条件下具有一定物理性质的以“实物形态”存在的物质。

世界是物质的，物质又是运动的。自然界的一切物质都在不停地运动着。科学证明：不仅行星、就是太阳及其它星体（包括地球在内）都以很高的速度在空间运动，所以在这些星体的内部和表面上的一切物体都在进行这种运动。除了这种宏观运动以外，每一物体内部中的看不出来的微粒（分子、原子、电子等）也都在进行着微观运动。物质和运动是永远不可分离的。恩格斯指出：“**运动是物质的存在方式。无论何时何地，都没有也不可能有没有运动的物质。……没有运动的物质和没有物质的运动是同样不可想象的。**”

物质经历各种变化后，有的只是一些物理性状的改变而没有新物质

的生成，如水蒸发成水蒸气，水冷却凝固成冰，铁拉成铁丝等，这种变化叫做物理变化；有的有新的物质生成，如煤的燃烧、铁器的生锈等，这种变化叫做化学变化，或化学反应。化学反应的特征是物质发生了质变，同时在反应过程中常伴随着热量（或光）的变化。

物质有多种多样的运动形式，如机械运动、物理运动、化学运动、生命过程等等。各种运动形式各有不同的本质，相应的就有各种自然科学。化学是关于原子运动的科学。恩格斯指出：“**化学可以称为研究物体由于量的构成的变化而发生的质变的科学。**”具体来说，化学是研究物质的结构、组成、性质、变化及其规律的科学。研究的目的是认识和掌握物质变化的规律、利用自然、改造自然、为社会主义革命、社会主义建设、巩固无产阶级专政服务。

科学的产生和发展是由生产所决定的，反过来科学的发展，又促进生产的发展。在我国社会主义建设事业中，许多工业部门所取得的伟大成就都是与化学科学的发展有关的。如金属、合金的冶炼过程、化学肥料的制造与改进、化工基本原料“三酸二碱”的制造、石油和天然气资源的充分利用、原子能工业的建立和发展，“变废为宝、化害为利”的废物利用，无不与化学的发展密切联系着。

和其它科学一样，随着社会生产的不断发展，化学科学已分成多种专门性的学科——无机化学、有机化学、物理化学、分析化学、生物化学、工业化学、放射化学等等。而无机化学目前还在发展过程中，它又被划分为普通元素化学、稀有元素化学、络合物化学、金属化学、无机合成化学、无机高分子化学等分支。无机化学是化学科学的一个分支，它是研究除了碳氢化合物及其衍生物以外一切元素及其化合物的学科。无机化学课程是其它化学课程的基础，它的任务是通过讲授、下厂、实验等各个教学环节对学生进行辩证唯物主义、历史唯物主义和党的基本路线教育；使同学能掌握元素周期系、物质结构、化学平衡及氧化还原等基本原理，理解并掌握重要元素及其化合物的特性，典型反应等基本知识，掌握基本实验操作和计算的技能，并了解这些基本理论、知识和技能在工农业生产上的应用；培养学员分析问题和解决问题的能力，为学习后续课和将来从事中学化学教学工作打下基础。

毛主席教导我们说：“**没有正确的政治观点，就等于没有灵魂**”因此在我们学习化学这门专业时，一定要批判不问政治的倾向、坚持以阶级斗争为主课，始终把坚定正确的政治方向放在第一位。我们工农兵学员要牢记毛主席的教导，不断排除右的和“左”的干扰，树立为巩固无产阶级专政的学习目的，正确处理好政治和业务的关系，为革命刻苦学习，努力做到又红又专，永远沿着毛主席指引的光辉“五·七”道路胜利前进。

我国是一个有着悠久历史的国家，我国古代的劳动人民在长期的生产实践中积累了丰富的化学知识，他们对化学工艺、冶金技术、医药等各方面都作出了重大贡献。造纸、火药的发明、瓷器的制造等都是闻名于世界的。但是，由于我国长期受封建统治，使生产技术和科学事业的发展受到了严重阻碍，特别是近百年来，我国广大劳动人民深受帝国主义，封建主义和官僚资本主义的压榨，使生产技术和科学事业受到严重摧残，旧中国的化学和化学工业都处于十分落后的状态。化工原料和产品的市场几乎完全被帝国主义控制，国内化工厂寥寥无几，不仅设备陈旧，技术落后，而且多数是依赖进口原料进行简单加工。

东方红，太阳升！伟大领袖毛主席领导中国人民取得了新民主主义革命胜利，又取得了社会主义革命和社会主义建设的一系列伟大胜利。在毛泽东思想光辉照耀下，随着生产的发展，我国的化学和化学工业，也不断取得了巨大的进展和显著的成绩。各种重要化工产品的产量逐年上升，质量不断提高。如合成氨，在解放前只有两个工厂生产，最高年产量（1942年）只不过是4.8万吨左右。解放后1957年较1949年产量提高了28倍。预计1975年将会有大幅度的增长。又如石油工业解放前1907年到1948年共42年间总产量为278万吨，解放后1957年一年产量就是370万吨。目前我国生产的石油，不仅满足了我国自己的需要，同时还进行出口。解放前一向依靠进口的许多化工品，如人造纤维、合成橡胶、塑料等等，现在我们不仅能自己大量生产，而且增加了多种类型的新产品，以适应工农业生产，国防建设和人民生活的需要。在新兴的无机化学部门，如稀有元素的提取，超纯场质的制备，同位素的分离等各方面都取得了很大的成绩。史无前例的无产阶级文化大革命和伟大的批

林整风运动彻底粉碎了刘少奇林彪一类骗子推行的反革命修正主义路线,进一步推动了工农业生产和各项科学事业的迅速发展。我国的化学和化学工业也取得了一系列新成就,如我国在世界上第一次用人工方法合成了结晶牛胰岛素,为人工合成蛋白质迈出了可喜的一步;我国建成了世界上第一座合成苯车间等等。特别是继多次成功地进行核试验之后,我国又成功地发射了地球人造卫星,人造卫星的上天标志着我国科学技术达到了一个新水平,也标志着我国化学和化学工业取得了飞跃的进展。所有这些成绩的取得,归根到底,都是由于伟大领袖毛主席和毛主席无产阶级革命路线的正确领导的结果。在党的领导下,在建设社会主义总路线的光辉照耀下,我国化学和化学工业必将取得更大的胜利。

第二节 分子和原子

一 分子和原子的概念

世界是由物质构成的,物质又是由什么组成的呢?人们在长期的实践中认识到物质是由分子组成。分子是保持物质化学性质的最小微粒。同种类的分子性质相同,不同种类的分子性质不同。氢气和氧气的性质所以不同,是因它们是由不同种类的分子组成的。在物理变化中,物质的分子没有发生变化,如液态的水、固态的冰、气态的水蒸气都是由水分子组成的。

由同种分子组成的物质,叫做纯净物质,如纯氧气是由氧分子组成的,纯水是由水分子组成的。由不同种分子组成的物质叫混和物,如空气是由氧气、氮气、惰性气体等几种气体分子组成的,所以空气是混和物。世界上绝对纯的物质是不存在的,所谓纯净,是对不纯的物质相对比较而言。纯是相对的,不纯是绝对的。

在化学上常用下面几个标准表示物质的纯度:

- 一级 (G.R. 保证试剂)
- 二级 (A.R. 分析试剂)
- 三级 (O.P. 化学纯试剂)
- 四级 (L.R. 实验室试剂)

纯度比一级高的还有光谱纯和超纯。

辩证唯物论认为，物质是无限可分的。物质可以分割成分子，那么，分子是否还可以进一步分割呢？事实证明，分子还可以进一步分割成更小的微粒——原子，显然，当某种物质的分子进一步分割成原子时，那种物质的性质也就不再保持了。我们把构成分子的用化学方法不能再分的最小微粒叫做原子。例如氧分子是由氧原子构成的，氢分子是由氢原子构成的，水分子是由氢原子和氧原子构成的。

物质的分子如果是由同种原子构成的，这种物质就叫做单质。硫、氧气、氢气就是单质。

物质的分子如果是由不同种原子构成的，这种物质就叫做化合物。水、硫酸、硫酸铜都是化合物。

上述内容可归纳成如下几点：

(1) 一切物质都是由分子组成的，而分子是由原子组成的。分子是物质能够独立存在而保持物质化学性质的最小微粒，而原子则是构成分子的更小微粒。它在一般化学反应中不能再分。

(2) 同种类的原子化学性质相同。不同种类的原子具有不同的化学性质。

(3) 纯净物质是由同种分子组成的，混和物是由不同种分子组成的。单质分子是由相同的原子组成的。而化合物的分子是由不同原子组成的，分子的重量等于组成它的原子重量的总和。

(4) 化学反应乃是分子的拆开（单原子分子除外）和原子重新组合的一种变化过程。

这就是原子—分子论的基本要点。

二、化学元素

我们知道，在化合物水分子里含有氧原子，在单质氧气的分子里也含有氧原子。不论组成单质氧气分子的氧原子还是含在许多化合物分子里的氧原子，它们都是同一类原子。组成单质硫的硫原子和硫酸分子里的硫原子则是属于另一类原子。在化学上，把化学性质相同的一类原子叫做元素。

元素以两种状态存在于自然界。一种是以单质的形式存在，叫元素

的游离态；另一种是以化合物的形式存在，叫元素的化合态。元素主要以化合态存在于自然界。可见，单质的分子是由同种元素的原子组成的，化合物的分子是由不同种元素的原子组成的。

目前已经发现了 105 种元素，其中大部分是自然界中存在的，少部分是用人工方法合成的。根据元素所形成的单质的性质，把元素大致地分成金属元素和非金属元素。金属元素在游离状态时形成金属单质。除汞外，所有金属在室温下都是固体。它们都具有金属的特征性的金属光泽，能传热、导电，大部分金属有延展性。非金属元素在游离态时形成非金属单质。非金属不象金属那样有彼此相似的性质。有些非金属在通常情况下是气体（氯气、氧气、氮气等），有些则是固体（硫、磷、碘、碳等），溴是液态的非金属。在金属和非金属之间，并没有严格的界限，有的则处于中间状态。

在化学上，每种元素都用一种特定的符号来表示，叫做元素符号。每种元素的符号就是用它的拉丁文名称的第一个字母来表示，遇到第一个字母相同时，就另外加上第二个字母。元素符号第一个字母必须大写，第二个字母必须小写。

表 1—1 常见的重要元素及其符号

非 金 属	金 属		元 素 命 名 原 则
	轻 金 属	重 金 属	
氢 H 氮 N 氧 O 碳 C 硫 S 磷 P 硼 B 硅 Si 砷 As 氟 F 氯 Cl 溴 Br 碘 I	钠 Na 钾 K 钙 Ca 镁 Mg 铝 Al	银 Ag 金 Au 镉 Cd 钴 Co 铜 Cu 铁 Fe 汞 Hg 锰 Mn 钼 Mo 镍 Ni 铅 Pb 锡 Sn 锌 Zn	1. 气体元素的名字，一律用气字头。 2. 液体元素的名字一律有水字如溴和汞。 3. 非金属固体元素的名字，一律用石字旁。 4. 固体金属元素的名字，一律用金字旁。

元素符号表示三种意义：(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，又表示一个氧原子和氧的原子量15.994。

(三) 原子量和分子量

物质具有一定的质量，这是物质最基本的和最重要的性质之一。原子虽小，也是具有一定的质量的。例如：1个氢原子重 1.674×10^{-24} 克；1个氧原子重 2.659×10^{-26} 克。这么小的数值，在实际应用上很不方便。为方便起见，我们可以选择一种原子为标准，而将其它的原子与之比较求出各原子的相对重量。

二十世纪初，规定原子量是以氧原子=16.00000为标准，由此求出各原子的相对重量。把氧原子重量的 $\frac{1}{16}$ 作为原子重量的单位，称为氧单位。某元素一个原子的重量用氧单位表示时，叫做该元素的原子量。

1961年国际上为了解决物理和化学上原子量的一致，改用碳的同位素 ^{12}C 作为标准，即以 $^{12}\text{C}=12.00000$ 作为原子量的标准。(原子量标准变动的原因在第六章讨论) 因此，新的原子量单位是 ^{12}C 原子的 $\frac{1}{12}$ ，称为碳单位。某元素一个原子的重量用碳单位来表示时，叫做该元素的原子量。根据新旧标准分别推算出来的原子量值，彼此差别很小，仅约百万分之四十三。例如氧的原子量从16.0000变成15.9994，在一般的计算中仍旧可以把氧的原子量看作是16。

因为分子是由原子组成的，只要知道分子的组成元素和组成元素的原子数，就可求出分子量。单质或化合物一个分子的重量用碳单位表示时，叫做它们的分子量。分子量等于组成该分子各原子的原子量的总和。例如水分子由实验测得是由2个氢原子和1个氧原子组成的，所以

$$\text{水的分子量} = 2 \times 1.008 + 16 = 18.016$$

第三节 化学反应的基本重量定律

在十八世纪下半叶，欧洲已开始进入资本主义上升时期，生产的迅速发展也推动了科学实验的进展。在化学实验室里开始有了比较精密的天秤作为实验工具后，使化学的研究工作发生了质的改变，即从对物质变化的简单定性研究进入到精密的定量研究。通过大量事实的积累，先后总结出质量守恒定律，定比定律、倍比定律和当量定律，这些基本定律，对于现代化学的发展起了重大的作用，也是我们学习化学的基础。

一、质量守恒定律

我们知道，一些物质经过化学变化生成另一些新的物质，这些新的物质具有与原来物质不同的性质。但是物质在化学变化前后的重量关系如何？

通过对各种化学变化精密的研究，总结出一条规律：

参加化学反应的全部物质的质量，等于反应后全部生成物的质量。

这叫做质量守恒定律。它是化学上的一个基本定律，也是自然界一切变化所遵循的普遍规律。它证明了物质不能消灭，也不能创造，只能从一种形式转变成另一种形式，也说明了物质世界是永恒存在的，最有力地批判了唯心主义否定世界是物质的谬论。

二、定比定律（定组成定律）

通过对多种物质的组成进行精确地研究后，总结出一个结论：在化合物里各元素的重量比总是一定的。这个定律称为定比定律。也可以说：任何纯净的化合物都有固定的组成。因此这个定律也叫做定组成定律。

根据定组成定律，化合物和混和物的重要区别在于：化合物的重量组成是固定的，而混和物的组成不是固定的，可按任何重量比任意改变。

在化学的不断发展过程中，后来发现有些化合物并不遵守这个定律。例如有些金属间化合物可以在一定范围内改变其组成。在发现了同位素之后，也给此定律带来了一定的限制。不过对我们常见的化合物来

说，却都严格遵守这个定律。

三、倍比定律

在研究化合物的组成中，发现有两种元素化合时不只生成一种化合物的情况。例如氢和氧可以形成水，也能形成过氧化氢。如果把它们的百分组成都变成和某一元素的单位重量相化合，则它们的重量组成可表示如下：

表 1—2 几种化合物的组成

化 合 物	组 成	氢	氧	氧重量 的比值	化 合 物	组 成	氧	铜	铜重量 的比值
水		1	7.94	} 1:2	氧化铜		1	3.97	} 1:2
过氧化氢		1	15.88		氧化亚铜		1	7.94	

由上表可以看到另一元素的化合量之间都成简单的整数比。类似的情况还有很多，总结起来，又得到另一基本定律：

当甲乙两种元素化合形成几种化合物时，则在这些化合物中，与一定重量甲元素相化合的乙元素的诸重量，必互成简单的整数比。这个定律称为倍比定律。

四、当量定律

伟大领袖毛主席教导说：“人们总是首先认识了许多不同事物的特殊本质，然后才有可能进一步地进行概括工作，认识诸种事物的共同的本质。”

定比定律告诉我们，各元素间总是按一定的重量比进行化合，那么各元素间化合时究竟是按怎样的重量比化合呢？

下表的上部分是几种化合物的重量百分组成。从表面上看，这些量之间并没有什么共同联系。

表 1—3 各元素与 O = 8 或 H = 1.008 化合的重量比

化 合 物	水		氧 化 铜		氧 化 钠	
	H	O	O	Cu	O	Na
百 分 组 成%	11.2	88.8	20.12	79.88	25.8	74.2
化合比 (O=8)	1.008	8	8	31.77	8	23

二 氧 化 碳		氯 化 氢		硫 化 氢		氮	
O	C	H	Cl	H	S	H	N
72.73	27.27	2.73	97.27	5.93	94.07	17.65	82.35
8	3	1.008	35.5	1.008	16	1.008	4.67

如果我们以 1.008 份重量氢或 8 份重量氧为标准（因为氢与氧化合成水的重量比是 1.008:8），则可从以上化合物的百分组成计算出各元素与 1.008 份重量氢或 8 份重量氧相化合时所需的重量。

例如，通过硫化氢的百分组成计算硫与 1.008 份重量的氢相化合时所需的重量：

$$94.07:5.93=x:1.008$$

$$x=\frac{94.07 \times 1.008}{5.93}=16$$

同样可计算出其它各元素与 1.008 份重量的氢或 8 份重量的氧相化合时所需的重量，计算结果如上表所示。这样，对各种元素来说，都可找出一个数值，表示他们和 8 份重量氧或 1.008 份重量的氢相化合时的重量。我们把某元素和 8 份重量的氧或与 1.008 份重量的氢相化合时，或从化合物中置换此量的氧或氢时所需的量，叫做该元素的当量。从上表可以看出，碳、硫、钠、氯等元素的当量分别为 3, 16, 23, 35.5 等。

由下表可看出，这些元素彼此化合时，恰好是按其当量比进行化合。

表 1—4 各元素的化合量

化合物	氯化钠		氯化铜		四氯化碳		硫化钠		硫化铜		二硫化碳	
	Cl	Na	Cl	Cu	Cl	C	S	Na	S	Cu	S	C
化合比 (O = 8)	35.5	23	35.5	31.77	35.5	3	16	23	16	31.77	16	3

因此可以进一步概括得出下列结论：各元素相互化合时其重量之比等于它们当量之比。这就是当量定律。

如果一种元素与另一种元素能生成几种化合物时，则这一元素可有几种不同的当量。例如氧、硫、铜就有下列两种当量。

表 1—5 氧、硫、铜的各种当量

化合物	水		过氧化氢		氧化铜		氧化亚铜		二氧化硫		三氧化硫	
	H	O	O	H	O	Cu	Cu	O	O	S	S	O
当 量	1.008	8	16	1.008	8	31.77	63.54	8	8	8	$\frac{16}{3}$	8
当量比值	1:2				1:2				3:2			

从上表可见，一种元素有几种不同的当量时，这些当量之间互成简单的整数比。这种关系实即倍比定律的另一种表现形式。

还可以进一步发现，元素的当量和它在化合物中的化合价及原子量之间存在如下的关系：

$$\text{当量} = \frac{\text{原子量}}{\text{化合价}}$$

元素当量的概念和当量定律也可以推广应用到化合物上。

某化合物和 1 当量的氢，或 1 当量的氧或 1 当量的任何其它物质完全作用时所需的量，叫做该化合物的当量。

各化合物相互作用时，其重量之比等于它们的当量之比。

当量定律可以用下式表述，

$$W_1 : W_2 = E_1 : E_2$$

$$\frac{W_1}{E_1} = \frac{W_2}{E_2}$$

W_1 和 W_2 分别代表两种元素或两种化合物相互作用时的重量， E_1 和 E_2 分别代表它们的当量。 W_1/E_1 和 W_2/E_2 为当量数。所以用当量数来表示当量定律时，则得：物质总是以相等的当量数互相进行反应。

例1. 黑色氧化铜含铜79.9%，氧20.1%，求铜的当量。

解 根据当量定律，铜和氧相互化合的重量之比应该等于它们的当量之比。现在79.9份铜和20.1份氧相互化合，用 x 代表铜的当量，已知氧的当量是8，所以可以写出下列比例式：

$$79.9 : 20.1 = x : 8$$

$$x = \frac{79.9 \times 8}{20.1} = 31.8$$

例2. 3.5克铁和硫化合生成5.5克硫化铁。已知硫的当量为16，求铁的当量。

解 根据题中数据可知，3.5克铁和 $(5.5 - 3.5)$ 克硫化合，若用 x 代表铁的当量，而硫的当量是16，根据当量定律可以写出下列比例式：

$$3.5 : (5.5 - 3.5) = x : 16$$

$$x = \frac{3.5 \times 16}{5.5 - 3.5} = 28$$

上述基本定律除了表述元素化合的重量关系外，也有有力地说明了物质的组成改变时必将引起性质的改变——量变到质变。物质组成发生改变时是跳跃式的、成倍的突变，可见物质是具有不连续性的结构。

根据原子论的基本概念——原子是参加化学反应的最小单位，很容易说明上述基本定律。质量守恒定律所反映的事实，就是由于原子在化学变化中只是重新组合生成新的物质，而原子的总数和原子量不变，所以反应前后的质量不变。化合物的分子总是由各元素的原子按一定比例组成的，原子数和原子量都有一定，所以组成化合物的各元素重量比也