

21 世纪职业技术教育规划教材

无机化学

王立升 主编

中国广播电视出版社

图书在版编目(CIP)数据

无机化学/王立升主编. —北京:中国广播电视出版社, 2005. 7

(21 世纪职业技术教育规划教材)

ISBN 7-5043-4587-3

I. 无… II. 王… III. 无机化学—专业学校—教材 IV. 061

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 020676 号

无机化学

主 编	王立升
责任编辑	张安平
装帧设计	广电高教编辑中心
监 印	赵 宁
出版发行	中国广播电视出版社
电 话	86093580 86093583
社 址	北京市西城区真武庙二条 9 号(邮政编码:100045)
经 销	全国各地新华书店
印 刷	安徽省蚌埠广达印务有限公司
开 本	880 毫米×1230 毫米 1/32
字 数	228 千字
印 张	8.75
印 数	5000 册
版 次	2005 年 7 月第 1 版 2005 年 7 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 7-5043-4587-3/O · 1
定 价	16.80 元

(版权所有 翻印必究 · 印装有误 负责调换)

目 录



第一章 物质的量	(1)
第一节 物质的量.....	(1)
第二节 气体摩尔体积.....	(5)
第三节 物质的量浓度.....	(8)
第四节 关于化学反应方程式的计算	(11)
本章小结	(16)
习题一	(17)
第二章 碱金属	(22)
第一节 钠	(22)
第二节 钠的化合物	(27)
第三节 碱金属性质比较	(30)
第四节 离子反应 离子方程式	(33)
本章小结	(36)
习题二	(37)
第三章 卤 素	(39)
第一节 氯 气	(39)
第二节 氯的重要化合物	(45)
第三节 卤素性质比较	(48)
第四节 氧化还原反应	(55)
本章小结	(60)
习题三	(61)
第四章 原子结构 元素周期律	(65)
第一节 原子的组成	(65)
第二节 核外电子的运动状态	(69)

第三节 核外电子的排布	(74)
第四节 元素周期律	(79)
第五节 元素周期表	(82)
本章小结	(90)
习题四	(91)
第五章 化学键	(97)
第一节 离子键	(97)
第二节 共价键	(99)
第三节 极性分子和非极性分子	(100)
第四节 分子间作用力 氢键	(102)
第五节 晶体的类型	(104)
本章小结	(108)
习题五	(109)
第六章 氧和硫	(111)
第一节 氧族元素	(111)
第二节 臭氧和过氧化氢	(113)
第三节 硫、硫的氢化物及金属硫化物	(114)
第四节 二氧化硫和三氧化硫	(117)
第五节 硫酸和硫酸盐	(120)
本章小结	(124)
习题六	(125)
第七章 氮和磷	(127)
第一节 氮族元素	(127)
第二节 氮气	(128)
第三节 氨和铵盐	(132)
第四节 硝酸和硝酸盐	(135)
第五节 磷、磷酸和磷酸盐	(139)
本章小结	(142)
习题七	(143)

第八章 碳和硅	(146)
第一节 碳族元素.....	(146)
第二节 碳和碳的化合物.....	(148)
第三节 硅和硅的化合物.....	(151)
第四节 无机非金属材料.....	(154)
本章小结.....	(160)
习题八.....	(162)
第九章 化学反应速率 化学平衡	(164)
第一节 化学反应速率.....	(164)
第二节 化学平衡.....	(168)
第三节 化学平衡的移动.....	(170)
本章小结.....	(174)
习题九.....	(175)
第十章 电解质溶液	(178)
第一节 强电解质和弱电解质.....	(178)
第二节 弱电解质的电离平衡.....	(181)
第三节 水的电离和溶液的 pH	(183)
第四节 盐的水解.....	(186)
本章小结.....	(190)
习题十.....	(191)
第十一章 几种重要的金属	(194)
第一节 金属通论.....	(194)
第二节 镁和钙.....	(205)
第三节 铝.....	(212)
第四节 铜、锌和铁	(216)
第五节 锡和铅.....	(220)
本章小结.....	(223)
习题十一.....	(226)

第十二章 电化学基础	(229)
第一节 原电池的原理.....	(229)
第二节 金属的腐蚀及其防护.....	(232)
第三节 电解及其应用.....	(235)
第四节 化学电源.....	(241)
本章小结.....	(247)
习题十二.....	(248)
附录一:无机化学实验	(250)
实验一 溶液的配制.....	(250)
实验二 卤素、碱金属的性质	(252)
实验三 同周期、同主族元素性质的递变	(254)
实验四 硫和硫酸的性质.....	(255)
实验五 氨的制取 氨离子的检验 硝酸的性质.....	(257)
实验六 电解质溶液.....	(259)
实验七 化学反应速率和化学平衡.....	(261)
附录二:各章习题参考答案	(264)

第一章

物质的量

摩尔是国际单位的一种基本单位,它用来计量原子、分子或离子等微观粒子的“物质的量”。像“时间”、“质量”一样,“物质的量”也是一种物理量。摩尔这个单位不但应用在化学方面,而且广泛应用于其他科学研究领域及工农业生产等方面。

第一节 物质的量

通过初中化学的学习,我们知道,物质是由众多的质量极微小的粒子所构成,而分子、原子、离子等这些构成物质的粒子是我们肉眼看不见的,虽然它们本身具有一定的质量,但难以称量。如果我们取众多粒子的集合体时,就可以称量了,这样在进行研究和计算时,就会带来很多方便。摩尔(符号 mol)这个单位就是把微观的粒子集体与宏观的可称量的物质联系起来的桥梁。

一、摩尔

科学上应用 $0.012\text{ kg }^{12}\text{C}$ 中所含碳原子个数作为摩尔的基准(^{12}C 就是原子中含有 6 个质子和 6 个中子的那种碳原子)。 $0.012\text{ kg }^{12}\text{C}$ 含有的碳原子数就是阿伏加德罗常数。阿伏加德罗常数的符号为 N_A 。该常数是经过实验已经测得比较准确的数

值,在实际运用中则采用 6.02×10^{23} 这个非常近似的数值。

摩尔是表示物质的量的单位,每摩尔物质含有阿伏加德罗常数个粒子。

粒子集体中的粒子既可以是分子、原子,也可以是离子或电子等。因此,在使用摩尔这个单位时,应指明粒子的种类,如: 0.5 mol O , 1 mol H_2 , 2 mol Na^+ 等,再如:

1 mol H_2 含有 6.02×10^{23} 个 H_2 ;

1 mol C 含有 6.02×10^{23} 个 C ;

1 mol SO_4^{2-} 含有 6.02×10^{23} 个 SO_4^{2-} 。

物质的量(符号为 n)、阿伏加德罗常数与粒子数(符号为 N)之间存在下述关系:

$$n = \frac{N}{N_A}$$

阿伏加德罗常数虽是个很大的数值,但以摩尔作为物质的量的单位应用起来却极为方便。这是因为单个碳原子难以称量,而 6.02×10^{23} 个碳原子就易于称量,其质量为 12 g 。由此,我们可以推算 1 mol 任何原子的质量。

我们知道,元素的相对原子质量是以 ^{12}C 质量的 $1/12$ 作为标准的,根据元素相对原子质量的定义可知,1 个碳原子和 1 个氢原子的质量比为 $12:1$ 。由于 $1 \text{ mol } ^{12}\text{C}$ 和 1 mol H 所含有的原子数目相同,都为 6.02×10^{23} 个,所以 $1 \text{ mol } ^{12}\text{C}$ 和 1 mol H 的质量比也应为 $12:1$ 。 $1 \text{ mol } ^{12}\text{C}$ 是 12 g ,那么, 1 mol H 的质量就是 1 g 。同理, 1 mol 任何原子的质量,就是以克为单位,在数值上等于该种原子的相对原子质量。例如:

O 的相对原子质量是 16, 1 mol O 的质量是 16 g ;

Cu 的相对原子质量是 63.55, 1 mol Cu 的质量是 63.55 g 。

同理可以推知, 1 mol 任何物质的质量,就是以克为单位,数

值上等于这种物质的式量^❶。例如：

SO_2 的式量是 64, 1 mol SO_2 的质量是 64 g;

H_2O 的式量是 18, 1 mol H_2O 的质量是 18 g;

NaCl 的式量是 58.5, 1 mol NaCl 的质量是 58.5 g。

我们还可以推知 1 mol 任何离子的质量。由于每个电子相对于整个原子来说,它的质量很微小,因此,失去或得到的电子的质量可以忽略不计。例如：

1 mol H^+ 的质量是 1 g;

1 mol SO_4^{2-} 的质量是 96 g;

1 mol Cu^{2+} 的质量是 63.55 g。

二、摩尔质量

我们将单位物质的量的物质所具有的质量叫做摩尔质量。也就是说,物质的摩尔质量是该物质的质量与该物质的物质的量之比。摩尔质量的符号为 M , 常用的单位为 g/mol。例如：

Na 的摩尔质量为 23 g/mol;

NaCl 的摩尔质量为 58.5 g/mol;

SO_4^{2-} 的摩尔质量为 96 g/mol。

物质的量(n)、物质的质量(m)和物质的摩尔质量(M)之间存在着下式所表示的关系：

$$M = \frac{m}{n}$$

三、关于摩尔的计算

【例 1】 2.5 mol S 的质量是多少克？

解 S 的相对原子质量是 32, 所以 S 的摩尔质量是 32 g/mol。

❶ 共价化合物是由分子构成的,这类物质的式量即是相对分子质量。

$$m(\text{S}) = n(\text{S}) \times M(\text{S}) = 2.5 \text{ mol} \times 32 \text{ g/mol} = 80 \text{ g}$$

答: 2.5 mol S 的质量是 80 g。

【例 2】 132 g CO_2 相当于多少摩尔的 CO_2 ? 里面含有多少个 CO_2 分子?

解 CO_2 的式量是 44, 所以 CO_2 的摩尔质量是 44 g/mol。

$$\begin{aligned} n(\text{CO}_2) &= \frac{m(\text{CO}_2)}{M(\text{CO}_2)} \\ &= \frac{132 \text{ g}}{44 \text{ g/mol}} \\ &= 3 \text{ mol} \end{aligned}$$

132 g CO_2 的分子数 $= 6.02 \times 10^{23} \times 3 = 1.81 \times 10^{24}$ (个)

答: 132 g CO_2 相当于 3 mol 的 CO_2 , 里面含有 1.81×10^{24} 个 CO_2 分子。

小知识

国际基本单位制有哪些?

由于世界各国的文化发展背景不同, 因而形成了各自的单位制, 同一个物理量常用不同的单位表示。例如, 同是长度单位, 中国用尺表示, 英国用英尺表示, 法国则用米表示, 等等。这种不同的表示单位给国际上科学技术的交流和商业的往来等都带来不便, 因此, 有必要实行统一的标准。

1960 年以来, 国际计量会议以米、千克、秒制为基础, 制定了国际单位制。国际单位制的 7 个基本单位及国际通用符号见下表。

物理量	长度	质量	时间	电流	热力学温度	发光强度	物质的量
单位	米	千克	秒	安[培]	开[尔文]	坎[德拉]	摩尔
国际通用符号	m	kg	s	A	K	cd	mol

第二节 气体摩尔体积

一、气体摩尔体积

对于固态或液态物质来说,1 mol 各种物质的体积是不相同的。例如,20 °C 时,1 mol Fe 的体积是 7.1 cm³,1 mol Al 的体积 10 cm³,1 mol Pb 的体积是 18.3 cm³,如图 1-1 所示;1 mol H₂O 的体积是 18.0 cm³,1 mol 纯 H₂SO₄ 的体积是 54.1 cm³,如图 1-2 所示。

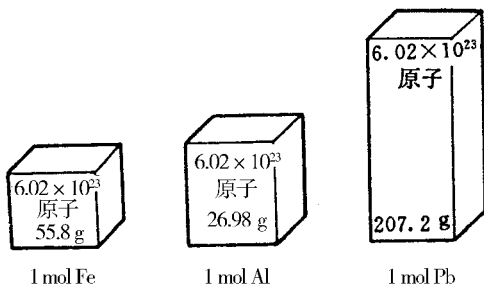


图 1-1 1 mol 的几种金属

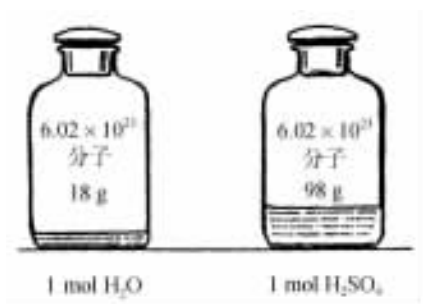


图 1-2 1 mol 的两种液态化合物

1 mol 固态或液态物质的体积为什么不同呢? 物质所占体积的大小主要取决于粒子数的多少、粒子之间的距离以及粒子本身的大小。当粒子数相等时,对固态或液态的物质来说,构成它们的粒子间的距离是很小的,其体积主要决定于粒子本身的大小。由于构成不同,物质的粒子的大小是不同的,所以 1 mol 不同物质的体积也就有所不同。

而对气体来说,情况就不同了。下面我们分别计算 1 mol H_2 、 O_2 和 CO_2 在标准状况下(温度为 $0\text{ }^\circ\text{C}$,压力为 1 标准大气压^❶)所占的体积。

在标准状况下, H_2 的密度为 0.0899 g/L ,1 mol H_2 的质量为 2.016 g ,体积约为

$$V(\text{H}_2) = \frac{m(\text{H}_2)}{\rho(\text{H}_2)} = \frac{2.016\text{ g}}{0.0899\text{ g/L}} = 22.4\text{ L}$$

通过同样的方法,我们还可以计算出:

1 mol O_2 的体积约为 22.4 L ;

1 mol CO_2 的体积约为 22.3 L 。

从上述三个计算结果可以看出,在标准状况时,1 mol 三种气体的质量都约为 22.4 L ,如图 1-3 所示。



图 1-3 气体摩尔体积

❶ 1 标准大气压(atm) = 101325 Pa = 101.325 kPa 。

经过大量实验证实:在标准状况下,1 mol 的任何气体所占的体积都约是 22.4 L。单位物质的量的气体所占的体积叫做气体摩尔体积,气体摩尔体积的符号为 V_m 。即:

$$V_m = \frac{V}{n}$$

气体摩尔体积的常用单位为 L/mol。

为什么 1 mol 气体在标准状况时所占的体积都相同呢? 因为气体的分子在较大的空间里迅速地运动着,分子间的平均距离比分子直径大得多(约为 10 倍),如图 1-4 所示。其体积主要决定于分子间的平均距离,而与分子本身的大小关系不大。在标准状况下,不同气体分子的平均距离几乎是相等的,所以,任何物质的气体摩尔体积都约是 22.4 L/mol。



图 1-4 固体、液体、气体的分子间距离比较示意图(以碘为例)

气体摩尔体积约是 22.4 L/mol,为什么一定要加上标准状况这一条件? 这是因为气体分子间的平均距离受温度和压强的影响很大,与温度成正比,与压力成反比。各种气体在温度和压力一样的情况下,分子间的平均距离才是相等的。在相同的温度和压力下,气体体积的大小只随分子数的多少而变化,相同体积的任何气体都含有相同数目的分子,这就是阿伏加德罗定律。气体摩尔体积是阿伏加德罗定律的特例。

二、关于气体摩尔体积的计算

【例 1】 6.4 g 的 O_2 在标准状况下的体积是多少?

解 O_2 的式量是 32, 则 O_2 的摩尔质量是 32 g/mol

$$\begin{aligned} n(O_2) &= \frac{m(O_2)}{M(O_2)} \\ &= \frac{6.4 \text{ g}}{32 \text{ g/mol}} \\ &= 0.2 \text{ mol} \\ V(O_2) &= V_m(O_2) \cdot n(O_2) \\ &= 22.4 \text{ L/mol} \times 0.2 \text{ mol} \\ &= 4.48 \text{ L}。 \end{aligned}$$

答: 6.4 g 的 O_2 在标准状况时的体积是 4.48 L。

【例 2】 已知 CO 在标准状况下的密度是 1.25 g/L, 求 CO 的式量。

$$\begin{aligned} \text{解} \quad M(\text{CO}) &= \rho(\text{CO}) \cdot V_m \\ &= 1.25 \text{ g/L} \times 22.4 \text{ L/mol} \\ &= 28 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

答: CO 的式量是 28。

第三节 物质的量浓度

一、物质的量浓度

溶液浓度表示的是在一定量溶液(或溶剂)中所含溶质的量。同一浓度的溶液, 如果用的单位不同, 则浓度的数值就不同。溶液浓度的表示方法有许多种。我们在初中化学学习过溶质的质量分数(w), 它是以溶质的质量和溶液的质量之比来表示溶液中溶质与溶液的质量关系的。但是, 取用溶液时, 一般量取它的体积比称

量它的质量要方便得多。同时,物质进行化学反应时,反应物和产物的物质的量之间存在着一定的关系,知道一定体积的溶液里含溶质的物质的量,运算起来很方便。下面我们要学习一种常用的表示溶液组成的物理量——物质的量浓度。

以单位体积溶液里所含溶质 B^① 的物质的量来表示溶液组成的物理量,叫做溶质 B 的物质的量浓度,物质的量浓度的符号为 c_B ,常用的单位为 mol/L(或表示为 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)。

在一定的物质的量浓度的溶液中,溶质 B 的物质的量(n_B),溶液的体积(V)和溶质的物质的量浓度(c_B)之间的关系可以用下面的式子表示:

$$c_B = \frac{n_B}{V}$$

如 1 L 溶液中含蔗糖 1 mol,则该溶液中蔗糖的物质的量浓度就是 1 mol/L。又如 1 mol 的 NaCl 的质量是 58.5 g,把 58.5 g NaCl 溶解在适量的水里制成 1 L 溶液,则该溶液中 NaCl 的物质的量浓度就是 1 mol/L。

但是,将 58.5 g NaCl 溶于 1 L 水中,此溶液的物质的量浓度不为 1 mol/L。因为在物质的量浓度的表达式里,用的是溶液的体积而不是溶剂的体积。

二、关于物质的量浓度的计算

(一)关于物质的量浓度基本概念的计算

【例 1】 在 200 mL NaOH 溶液里溶有 0.4 g NaOH,计算该溶液的物质的量浓度。

解 NaOH 的摩尔质量是 40 g/mol,0.4 g NaOH 的物质的量为:

① B 表示各种溶质。

$$\begin{aligned}
 n(\text{NaOH}) &= \frac{m(\text{NaOH})}{M(\text{NaOH})} \\
 &= \frac{0.4 \text{ g}}{40 \text{ g/mol}} \\
 &= 0.01 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

溶液中 NaOH 的物质的量浓度为：

$$\begin{aligned}
 c(\text{NaOH}) &= \frac{n(\text{NaOH})}{V[\text{NaOH}(\text{aq}) \text{ ①}]} \\
 &= \frac{0.01 \text{ mol}}{0.2 \text{ L}} \\
 &= 0.05 \text{ mol/L}
 \end{aligned}$$

答：该 NaOH 溶液的物质的量浓度是 0.05 mol/L。

【例 2】 计算配制 500 mL 0.1 mol/L NaCl 溶液所需 NaCl 的质量。

解 NaCl 的式量为 58.5，摩尔质量是 58.5 g/mol，500 mL 0.1 mol/L 的 NaCl 溶液中 NaCl 的物质的量为：

$$\begin{aligned}
 n(\text{NaCl}) &= c(\text{NaCl}) \cdot V[\text{NaCl}(\text{aq})] \\
 &= 0.1 \text{ mol/L} \times 0.5 \text{ L} \\
 &= 0.05 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

0.05 mol NaCl 的质量为：

$$\begin{aligned}
 m(\text{NaCl}) &= n(\text{NaCl}) \cdot M(\text{NaCl}) \\
 &= 0.05 \text{ mol} \times 58.5 \text{ g/mol} \\
 &= 2.93 \text{ g}
 \end{aligned}$$

答：配制 500 mL 0.1 mol/L NaCl 溶液需 2.93 g NaCl。

(二) 溶液中溶质的质量分数与溶质的物质的量浓度的换算

【例 3】 已知某溶液的质量分数为 w ，密度为 $\rho(\text{g/mL})$ ，求这

① aq 表示某种物质的水溶液，如 NaCl(aq) 表示 NaCl 的水溶液。

种溶液的物质的量浓度。

解 1 L 溶液中含溶质的质量为： $1000 \times \rho \times w$

$$1 \text{ L 溶液中溶质物质的量} = \frac{\text{溶质的质量}}{\text{溶质的摩尔质量}} = \frac{1000 \times \rho \times w}{M}$$

故物质的量浓度与质量分数的换算公式为：

$$c = \frac{1000 \times \rho \times w}{M}$$

(三) 有关溶液稀释的计算

在实际工作中，我们有时需要将浓溶液稀释成稀溶液。在稀释浓溶液时，溶液的体积发生了变化，但溶液中溶质的物质的量不变，即在浓溶液稀释前后，溶液中溶质的物质的量相等。即：

$$c(\text{浓溶液}) \cdot V(\text{浓溶液}) = c(\text{稀溶液}) \cdot V(\text{稀溶液})$$

【例 4】 要配制 500 mL 1.84 mol/L 的稀 H_2SO_4 ，需 18.4 mol/L 浓 H_2SO_4 多少毫升？

解 设配制 500 mL (V_1) 1.84 mol/L (c_1) H_2SO_4 溶液需要 18.4 mol/L (c_2) H_2SO_4 溶液的体积是 V_2 。则

$$\begin{aligned} V_2 &= \frac{c_1 \cdot V_1}{c_2} \\ &= \frac{1.84 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 0.5 \text{ L}}{18.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}} \\ &= 0.05 \text{ L} \\ &= 50 \text{ mL} \end{aligned}$$

答：需 18.4 mol/L 的浓 H_2SO_4 50 mL。

第四节 关于化学反应方程式的计算

一、物质的量应用于化学方程式的计算

物质是由原子、分子或离子等粒子组成的，物质之间的化学反