

高 等 学 校 教 材

无 机 化 学

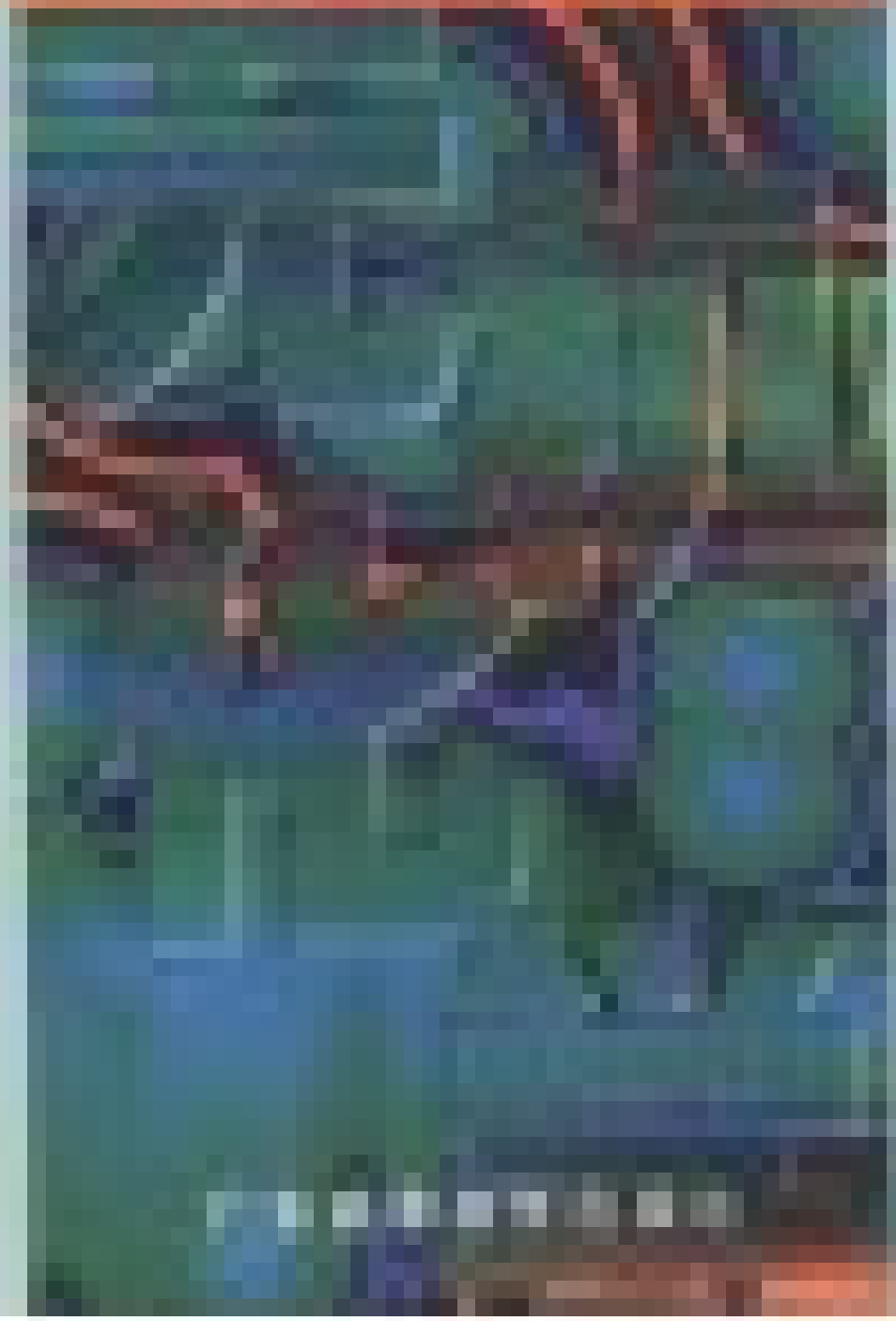
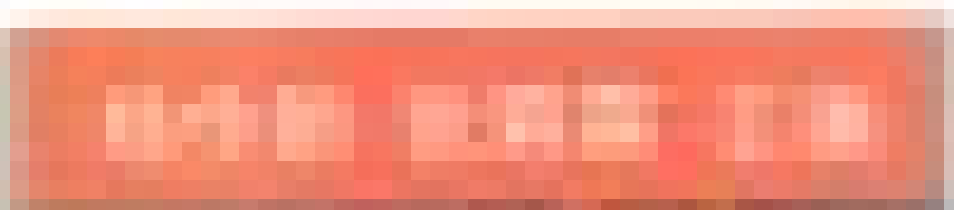
杨作新 张霖霖 主编



广东高等教育出版社



无机化学



无 机 化 学

杨作新 张霖霖 主编
郑 成 审定

广东高等教育出版社
·广州·

图书在版编目 (CIP) 数据

无机化学/杨作新, 张霖霖主编. —广州: 广东高等教育出版社, 2000.9

ISBN 7-5361-2538-0

I. 无…

II. ①杨… ②张…

III. 无机化学-高等学校-教材

IV. O61

中国版本图书馆 CIP 数据 (2000) 核字第 40376 号

广东高等教育出版社出版发行

地址: 广州市广州大道北广州体育学院 20 栋

邮政编码: 510075 电话: 83792953 87552830

广东省教育厅教育印刷厂印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 21 印张 511 千字

2000 年 9 月第 1 版 2002 年 9 月第 2 次印刷

印数: 3501 ~ 6000 册

定价: 29.80 元

前 言

我们在多年的教学实践中，感到适合化学、化工专业大专层次和非化学、化工专业本科学生学习的无机化学教材较少，且普遍存在内容偏多、偏深，学生较难在规定学时内把握好重点以至完全消化的情况。为此，我们根据自己的教学经验，组织编写了这本书，以适应广东省地方性大学培养较高水平的专业型、应用型人才的需要。

本教材力求理论阐述详实，通俗易懂，重点突出，例题精辟，使学生能在较短时间内理解、掌握基础理论知识及其应用。教材内容注意了与现行中学化学教学大纲衔接，统一采用法定计量单位。材料理论与元素化学部分加强了与实际应用的联系，同时，通过例题加强对基本概念的理解与运用。所编内容体现了师范性院校与工科院校的特点。教学中可根据专业要求、教学对象、学时数等具体情况，有所侧重、有所选择地施教。

参加本书编写的有：东莞理工学院包树元（第一、六章），五邑大学邓朝丽（第二、九章），佛山科技学院王峰云（第三章）、袁毅桦（第四、十五章），惠州学院沈友（第七章），茂名学院蒋维（第八章）、王建清（第十三章）、黄敏（第十四章），韶关学院杨绍松（第十、十一、十二章），广州大学张霖霖（第五章）。全书由广州大学杨作新、张霖霖主编，郑成审阅定稿。

在本书编写过程中我得到了嘉应学院化学系梁均方副教授、中山学院张玉鸿教授的支持与帮助，借此机会一并致谢。

限于我们的水平，对于本书中的不妥之处，恳请专家和使用本书的师生们赐教和指正。

编 者
2000年5月

目 录

第一章 化学的基本概念 气体定律	1
第一节 化学的基本概念	1
第二节 国际单位制 摩尔	3
第三节 理想气体定律	6
习题	12
第二章 溶液 胶体	14
第一节 水	14
第二节 溶液	16
第三节 溶液中溶质的含量	17
第四节 稀溶液的依数性	21
第五节 胶体	23
习题	25
第三章 化学热力学初步	27
第一节 引言	27
第二节 热力学第一定律和热化学	29
第三节 化学反应的方向	36
习题	43
第四章 化学反应速率与化学平衡	45
第一节 化学反应速率	45
第二节 影响化学反应速率的因素	49
第三节 化学平衡	52
第四节 化学平衡的移动	57
第五节 化学反应速率和化学平衡在化工生产中的应用	61
习题	66
第五章 电解质溶液中的离子平衡	68
第一节 强电解质的电离	68
第二节 水的电离与溶液的 pH	69
第三节 弱电解质的电离	71

第四节	同离子效应 电离平衡的移动	75
第五节	缓冲溶液	76
第六节	盐类的水解	79
第七节	溶液中的多相离子平衡	83
第八节	酸碱质子理论	89
习题		91
第六章	原子结构和元素周期律	93
第一节	玻尔的氢原子模型	93
第二节	原子核外电子的运动状态	97
第三节	原子的核外电子排布与元素周期律	104
第四节	原子结构与元素的电离能、电子亲和能、电负性	114
习题		120
第七章	分子结构 晶体	123
第一节	化学键参数和分子性质	123
第二节	离子键	128
第三节	共价键	130
第四节	分子间力和氢键	145
第五节	晶体结构	148
习题		155
第八章	氧化还原反应	157
第一节	氧化还原反应	157
第二节	原电池和电极电势	162
第三节	电极电势的应用	173
第四节	氧化还原反应在工业上的应用	182
习题		191
第九章	配位化合物	195
第一节	配合物的基本概念	195
第二节	配合物的价键理论	197
第三节	配合物的稳定性	200
第四节	配合物形成时的特征	205
第五节	螯合物	206
第六节	配合物的应用	208
习题		209

第十章 氢 稀有气体	211
第一节 氢	211
第二节 稀有气体	214
习题	217
第十一章 主族元素(一)	218
第一节 卤素元素	218
第二节 氧 硫	228
第三节 氮族元素	238
习题	248
第十二章 主族元素(二)	251
第一节 碱金属和碱土金属	251
第二节 硼和铝	256
第三节 碳和硅	261
习题	268
第十三章 过渡元素(一)	269
第一节 过渡元素概述	269
第二节 铬	273
第三节 锰	275
第四节 铁 钴 镍	278
习题	281
第十四章 过渡元素(二)	283
第一节 ds 区元素及其原子外层电子构型特征	283
第二节 铜 银 金	283
第三节 锌 镉 汞	290
第四节 镧系和锕系元素	298
习题	300
第十五章 物质的性质与元素周期性的关系	301
第一节 元素在自然界的丰度及分布	301
第二节 单质性质的周期性	303
第三节 无机酸强度的变化规律	309
第四节 含氧酸盐的性质	312
习题	315

附录.....	318
附录一 标准热力学数据(298.15 K)	318
附录二 电离常数(298.15 K)	319
附录三 溶度积常数(298.15 K)	320
附录四 标准电极电势(298.15 K)	321
习题参考答案	326

第一章 化学的基本概念 气体定律

基本要求

- ①掌握一些化学基本概念，了解与无机化学有关的国际单位制（SI）及我国法定计量单位的基本内容。
- ②掌握“物质的量”及其单位的定义，并能熟练地进行有关计算。
- ③掌握理想气体状态方程式和气体分压定律，并能熟练地进行有关计算。

第一节 化学的基本概念

一、分子、原子、元素

在保持物质化学性质不变的前提下，物质分割的极限，称为分子。也就是说，分子是保持了该物质的化学性质的最小微粒。任何的物理变化都不会使分子的组成发生变化。

正确理解分子的概念必须注意以下两点：

- (1) 分子只保持物质的化学性质，而不保持物质的物理性质，如熔点、沸点、密度、硬度、颜色等，都是许多分子聚集在一起才能表现出来的。
- (2) 分子是构成物质的最小微粒，是以“保持物质化学性质”为前提的，离开这前提分子就不再是构成物质的最小微粒了。因为分子还可再分成更小的微粒——原子，但原子已不再具有原物质的化学性质了。例如，将一个二氧化碳分子再分，就可得到碳原子和氧原子，它们的性质跟二氧化碳已经完全不同了。

分子可以分割为原子。化学反应是分子可以再分的有力证据，例如，将水电解可以得到氢气和氧气。在化学变化中，原子只是发生了新的组合，原子本身并没有变成其他原子。因此，可以说原子是物质进行化学反应的基本微粒。

原子的特点是：它的大部分质量集中在原子核内，原子核的体积很小，约为整个原子体积的 10^{-15} 。故原子核的密度很大，而原子内原子核外具有较大的空间。

分子和原子都是构成物质的微粒，它们既有联系又有本质的区别：分子是保持物质化学性质的最小微粒，它能独立存在，在化学反应中，某种分子能变成其他物质的分子；原子是物质进行化学反应的基本微粒，一般不能独立存在，在化学反应中某种原子不会变成其他原子。应该指出，原子也不是构成物质的最小微粒，它是由质子、中子、电子等更小的微粒所构成。

在这里还必须提到“元素”的概念。元素又称化学元素，化学元素的现代概念是：元素是原子核中质子数（即核电荷数）相同的一类原子的总称。例如，在氧气（ O_2 ）、水（ H_2O ）、硫酸（ H_2SO_4 ）中的氧，核电荷数都是 8，所以这些物质中都含有氧元素。到目前为止，人们已经发现的化学元素有 112 种，它们组成了到现在已知的 1 000 万种以上的物质，宇宙万物都是由这些元素的原子构成的。在自然界里，少数物质的组成比较简单，如氧气是由氧元素组成的，铝由铝元素组合而成。这种由同种元素组成的物质称为单质。在自然界里，多数物质的组成比较复杂，如水由氢和氧两种元素组成，硫酸由氢、硫和氧三种元素组成，这种由不同种元素组成的物质称为化合物。单质是元素存在的一种形式（游离态），化合物是元素存在的另一种形式（化合态）。

从原子核的组成看，有一种碳原子的原子核里有 6 个质子和 6 个中子，它的质量数（核内质子数和中子数之和）是 12，这种具有一定数目质子和一定数目中子的一种原子称为核素。这种碳原子称碳-12 核素，它可写为 ^{12}C 核素。另一种碳原子的原子核里有 6 个质子和 7 个中子，质量数为 13，称碳-13 核素，可写为 ^{13}C 核素。具有多种核素的元素称多核素元素，如上述的碳元素即是。自然界中存在的钠元素，只有质子数为 11、中子数为 12 的一种钠原子，即钠元素只有 ^{23}Na 一种核素，这样的元素称单核素元素。

实验表明，同种元素的原子核内所含质子数是相同的，但中子数可以不同，如 ^{12}C 核素和 ^{13}C 核素。这种质子数相同而中子数不同的同一元素的不同原子互称为同位素；即多核素元素中的不同核素互称为同位素。 ^{12}C 和 ^{13}C 是碳的同位素。同位素原来的意义是“同位异重”，即同种元素的不同核素，质子数相同，在元素周期表中占同一位置，但质量数不同。在自然界中能稳定存在的同位素称为稳定同位素；不能稳定存在，具有放射性，会蜕变成其他元素的同位素称为放射性同位素。放射性同位素有天然的，也有人工合成的。

二、相对原子质量、相对分子质量、式量

元素原子的相对原子质量的定义是：元素的平均原子质量与核素 ^{12}C 原子质量的 $1/12$ 之比。所谓元素的平均原子质量，是对一种元素含有多种天然同位素而说的，平均原子质量可由这些同位素的原子质量和丰度（指某同位素在所属的天然元素中所占的原子百分数）来计算。

元素的相对原子质量用符号 $A_r(E)$ 表示， E 代表某元素。如氧的相对原子质量等于 16.00，可表示为 $A_r(O) = 16.00$ 。它表示 1 个氧原子的平均质量是核素 ^{12}C 原子质量 $1/12$ 的 16.00 倍。可见，元素的相对原子质量只是一种相对比值，它的单位为一。

原子质量是指某核素一个原子的质量。由于原子的绝对质量很小（如 ^{12}C 一个原子的绝对质量为 $1.993 \times 10^{-23} \text{ g}$ ），如果以克为质量单位来表示很不方便，所以采用 ^{12}C 一个原子质量的 $1/12$ 作单位，称为“原子质量单位”，用“ u ”表示（ $1 u = 1.66 \times 10^{-24} \text{ g}$ ），因此 ^{12}C 的原子质量也就等于 $12 u$ 。

自然界的氢元素有两种同位素，实验测得 1H 的原子质量为 $1.007 825 u$ ，丰度为 99.985%， 2H 的原子质量为 $2.014 0 u$ ，丰度为 0.015%，因此氢元素的平均原子质量为：

$$1.007\,825\,u \times 99.985\% + 2.014\,0\,u \times 0.015\% = 1.007\,9\,u$$

根据元素的相对原子质量的定义，氢的相对原子质量为：

$$A_r(\text{H}) = \frac{\text{H 的平均原子质量}}{^{12}\text{C 的原子质量} \times \frac{1}{12}} = \frac{1.007\,9\,u}{12\,u \times \frac{1}{12}} = 1.007\,9$$

物质的相对分子质量的定义是：物质的分子的平均质量与核素 ^{12}C 原子质量的 $1/12$ 之比。在具体计算中，由于分子是由某种（或几种）元素的原子组成的，只要知道组成分子的元素及其原子的数目，就可以写出分子式，并计算出该物质的相对分子质量，即物质的相对分子质量等于组成该分子各原子的元素的相对原子质量之和。和相对原子质量一样，相对分子质量也是单位为一的相对量，相对分子质量可用符号 M_r 表示，例如：

$$M_r(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2 \times 1.008 + 32.06 + 4 \times 16.00 = 98.08$$

自然界中有些物质是由分子聚集而成的，如氧气、氯化氢、乙醇等，它们可以用分子式来表示，并可根据分子式计算出相对分子质量。如气态或固态的二氧化碳都是由许多二氧化碳分子聚集而成的，每个二氧化碳分子是由一个碳原子和二氧原子构成的。所以，二氧化碳的分子式是 CO_2 ，相对分子质量为 44.01。但是应该注意到自然界中还有许多物质并不是由分子聚集而成的，而是由许多原子或离子结合形成大小不等的晶体，对它们就不能用分子式，而只能用化学式或最简式表示。例如金刚石，它是碳的一种单质。在金刚石晶体中，每个碳原子与它周围的四个碳原子以共价键相结合，整个金刚石晶体是碳原子彼此以共价键相结合的一个巨大分子，因此对金刚石来说，只能用化学式 C 来表示它的组成，这个化学式的式量为 12.01。又如氯化钠，它是由许多钠离子和氯离子按 1:1 离子比结合而成的晶体。在氯化钠晶体中，每个钠离子等距离地被 6 个氯离子所包围，同样每个氯离子也等距离地被 6 个钠离子所包围，因此在氯化钠晶体中并不存在 NaCl 分子。 NaCl 不是氯化钠的分子式，而只能看作是它的化学式，其化学式式量为： $22.99 + 35.45 = 58.44$ 。

第二节 国际单位制 摩尔

一、国际单位制

国际单位制是 1960 年第 11 届国际计量大会建议并通过的一种单位制。它是以米、千克、秒（m、kg、s）公制为基础，逐步加上其他单位，并作了一些规定而制定出来的单位制，它可简称为 SI。国际单位制克服了由于历史原因造成的多种单位制并用的混乱局面，并尽可能地反映出当代的科学技术水平，因此，它具有科学、精确、简明和实用的特点。

国际单位制（SI）包括国际单位制基本单位，国际单位制导出单位及国际单位制词冠三个部分，现分别列于表 1.1 至表 1.3。

表 1.1 SI 基本单位

物理量	单位名称	单位符号	
		中文	国际
长 度	米	米	m
质 量	千克	千克	kg
时 间	秒	秒	s
热力学温度	开尔文	开	K
物质的量	摩尔	摩	mol
电 流	安培	安	A
光强度	坎德拉	坎	Cd

表 1.2 SI 导出单位 (部分)

物理量	单位名称	单 位 符 号	
		中文	国 际
力	牛顿	牛	N ($\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)
压力、压强、应力	帕斯卡	帕	Pa ($\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$)
能量、热、功	焦耳	焦	J ($\text{N}\cdot\text{m}$)
电荷量	库仑	库	C ($\text{A}\cdot\text{s}$)
电位、电压、电动势	伏特	伏	V ($\text{J}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{A}^{-1}$)
频率	赫兹	赫	Hz (s^{-1})

表 1.3 SI 词头 (部分)

倍数	符 号		分数	符 号	
	中文	国际		中文	国际
10^1	十	da	10^{-1}	分	d
10^2	百	h	10^{-2}	厘	c
10^3	千	k	10^{-3}	毫	m
10^6	兆	M	10^{-6}	微	μ
10^9	吉	G	10^{-9}	纳	n
10^{12}	太	T	10^{-12}	皮	p
10^{15}	拍	P	10^{-15}	飞	f
10^{18}	艾	E	10^{-18}	阿	a

二、我国法定计量单位

我国法定计量单位就是国家以法令的形式明确规定要在全中国采用的计量单位，它是以国际单位制单位为基础，同时选用了一些国内外习惯或通用的非国际单位制的单位构成的，后者列于表 1.4。

表 1.4 我国选定的非国际单位制单位 (部分)

量的名称	单位名称	单位符号	换 算 关 系
时间	分	min	1 min = 60 s
	小时	h	1 h = 60 min = 3 600 s
	天 (日)	d	1 d = 24 h = 86 400 s
质量	吨	t	1 t = 10^3 kg
	原子质量单位	u	1 u $\approx$ $1.660\,565\,5 \times 10^{-27}$ kg
体积	升	L (l)	1 L = 1 dm ³ = 10^{-3} m ³
能	电子伏	eV	1 eV $\approx$ $1.602\,189\,2 \times 10^{-19}$ J

考虑到历史沿用和参考的需要，现将已被废除的一些计量单位与法定计量单位间的换算列于表 1.5 中。

表 1.5 已废除的计量单位 (部分) 与法定计量单位的关系

量的名称	废除单位名称	废除单位符号	与法定计量单位的关系
长度	埃	Å	$1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$
力	达因	dyn	$1 \text{ dyn} = 10^{-5} \text{ N}$
	千克力	kgf	$1 \text{ kgf} = 9.806 \text{ 65 N}$
压力、压强	巴	bar	$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$
	标准大气压	atm	$1 \text{ atm} = 1.013 \text{ 25} \times 10^5 \text{ Pa}$
	毫米汞柱	mmHg	$1 \text{ mmHg} = 133.322 \text{ Pa}$
	毫米水柱	mmH ₂ O	$1 \text{ mmH}_2\text{O} = 9.806 \text{ 375 Pa}$
能、热、功	卡路里	cal	$1 \text{ cal} = 4.186 \text{ 8 J}$
	尔格	erg	$1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ J}$

三、物质的量及其单位——摩尔

“物质的量”是用来计量指定的微观基本单元，如分子、原子、离子、电子等粒子或其特定组合的一个物理量。代表这个物理量的符号通常使用“ n ”。“物质的量”四个字是一个整体，不得简化或增添任何字，更不能按普通的字面意义把“物质的量”当作表示物质数量或质量多少的量来理解。物质的量的国际单位制单位名称为摩尔，单位符号为摩 (mol)。国际计量委员会提出的摩尔定义是：摩尔是一系统的物质的量，该系统中所包含的基本单元数与 $0.012 \text{ kg } ^{12}\text{C}$ 的原子数目相等。

在使用摩尔时，基本单元应予指明，可以是原子、分子、离子、电子及其他粒子，或是这些粒子的特定组合。经实验测定， $0.012 \text{ kg } ^{12}\text{C}$ 所含原子数目为 6.022×10^{23} 个，该量值称为阿伏加德罗常数 (N_A)。因此，如果某物质系统中所含基本单元的数目为 N_A ，则该物质系统中的物质的量就为 1 mol ；如果所含基本单元数目为 N_A 的 a 倍，则该物质系统中的物质的量就是 $a \text{ mol}$ 。在使用摩尔作为计量单位时，必须指明基本单元的种类。例如：

1 mol H_2 ，表示有 N_A 个 H_2 分子；

1 mol H ，表示有 N_A 个 H 原子；

1 mol H^+ ，表示有 N_A 个 H^+ 离子；

$1 \text{ mol } (\text{H}_2 + \frac{1}{3} \text{N}_2)$ ，表示有 N_A 个 H_2 分子和 $\frac{1}{3} N_A$ 个 N_2 分子的组合。

如果不明确指出基本单元，则表示的意义会含糊不清。例如，笼统地说“ 1 mol 氢”，就无法断定所指的是氢分子、氢原子或氢离子。

四、摩尔质量

微粒太小无法用数数的办法计量它的数目，但可通过称取物质的质量来确定其中所包含的基本单元数。它们之间的关系可以通过摩尔质量的概念来联系起来。人们定义：某物质单位物质的量的质量叫做该物质的摩尔质量。简单地讲，所谓摩尔质量就是指 1 mol 该物质的质量。其数学表达式为：

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

式中： M 为摩尔质量，它的 SI 单位是 $\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ ，但一般更常用的是 $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ； m 是物质的质量； n 是物质的量。利用上式可以进行三者间的相互换算。

必须指出，对任何元素原子的摩尔质量，若以 $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ 为单位，它在数值上等于其相对原子质量；而任何分子的摩尔质量，若以 $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ 为单位，它在数值上等于其相对分子质量。例如氢原子的摩尔质量为 $1.008 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ，氢分子的摩尔质量为 $2.016 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ，硫酸的摩尔质量为 $98.09 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ，等等。

例 1.1 2 mol H_2SO_4 中含有几摩尔氧原子，这些氧原子的质量是多少？

解：每个硫酸分子中含有 4 个氧原子，因此 2 mol H_2SO_4 中氧原子的物质的量为：

$$n = 2 \text{ mol} \times 4 = 8 \text{ mol}$$

氧原子的摩尔质量为 $M = 16 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ，根据 $n = \frac{m}{M}$ ，则

$$m = nM = 8 \text{ mol} \times 16 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1} = 128 \text{ g}$$

答：2 mol H_2SO_4 中含有 8 mol 氧原子，它的质量为 128 g。

例 1.2 求 0.12 kg NaOH 的物质的量。

解：NaOH 的摩尔质量在数值上等于它的化学式式量，单位是 $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ，即

$$M = (23 + 16 + 1) \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1} = 40 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1} = 0.040 \text{ kg}\cdot\text{mol}^{-1}$$

所以 NaOH 的物质的量为：

$$n = \frac{m}{M} = \frac{0.12 \text{ kg}}{0.040 \text{ kg}\cdot\text{mol}^{-1}} = 3 \text{ mol}$$

答：0.12 kg NaOH 的物质的量是 3 mol。

第三节 理想气体定律

一、理想气体状态方程式

气体的基本特征是它的扩散性和可压缩性。物质处在气体状态时，分子间的空隙很大，致使分子间的吸引力很小，各个分子都在无规则地快速运动。因此，可认为气体的存在状态几乎和它们的化学组成无关，这就使得气体具有许多共同性质，对于研究气体的状态带来了方便。气体的存在状态主要决定于四个因素，即体积、压强、温度和物质的量。反映这四个物理量之间关系的式子称为气体状态方程式。

1662 年英国化学家波义耳（Boyle）利用空气作实验得到以下结论：在温度不变时，一定量气体的体积与压强成反比，即气体的压强与体积的乘积为恒量。其数学表达式为：

$$pV = \text{恒量} (T, n \text{ 恒定}) \quad (1.1)$$

其后，法国科学家查理（Charles）和盖·吕萨克（Gay Lussac）用实验确定：在压强不变时，一定量气体的体积与温度成正比，即气体的体积对温度的商值为恒量。其数学表达式为：

$$\frac{V}{T} = \text{恒量}(p, n \text{ 恒定}) \quad (1.2)$$

1811 年意大利化学家阿伏加德罗 (Avogadro) 提出: 在相同的温度与压强下, 同体积的任何气体都含有相同数目的分子。当气体的温度与压强不变时, 气体的体积是与气体的分子数目或它的物质的量成正比, 即

$$V \propto n(p, T \text{ 恒定}) \quad (1.3)$$

综上所述, 气体的体积 (V) 与其物质的量 (n)、温度 (T) 成正比, 而与其压强 (p) 成反比, 即

$$V \propto \frac{nT}{p}$$

若比例常数为 R , 则

$$V = R \frac{nT}{p}$$

或

$$pV = nRT \quad (1.4)$$

式中: p 为气体的压强; V 为气体的体积; T 为气体的温度; n 为气体的物质的量; R 为摩尔气体常数 (简称气体常数)。

式 1.4 的气体状态方程式是以波义耳等气体实验定律为基础而获得的。而那些定律都是在一定条件下的实验总结, 它们只能反映实验范围内的客观事实。对于一般气体, 只有当压强不太大, 温度不太低时, 才能较好地遵守这些定律, 否则会产生较大的偏差。那么, 应该具备那些条件的气体, 才能在任何情况下都遵守以上这些气体定律呢? 人们研究指出, 只有当那种气体的分子间没有相互作用力, 并且分子本身的体积可以忽略不计时, 它的运动规律才完全符合上述气体定律。这种完全符合上述气体定律的气体称为理想气体。从而可见, 在上述定律的基础上推导出来的气体状态方程式 1.4, 只有对理想气体才是严格适用的, 所以式 1.4 称为理想气体状态方程式。

任何实际气体都不能满足理想气体所要求的条件。但是, 当气体的压强很低时, 分子间距离大, 相互作用极微弱, 而且分子本身占有的体积与整个气体占有的体积相比, 是可以略去不计, 这时的气体可以近似地看作为理想气体。任何低压下的实际气体, 当压强越低时, 就越接近理想气体, $pV = nRT$ 方程的适用性也就越好。因此, 理想气体可看作是实际气体在压强趋于 0 时的一种极限状态。

应该特别指出, 在利用理想气体状态方程式进行计算时, 必须注意 R 的数值和单位。实验表明, 在标准状况 (即 $p = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$, $t = 0^\circ \text{C}$ 或 $T = 273.15 \text{ K}$) 下, 物质的量 $n = 1 \text{ mol}$ 的理想气体, 它的体积 $V = 22.4 \text{ L}$, 于是可以求出此时 R 的数值和单位:

$$R = \frac{pV}{nT} = \frac{1.013 \times 10^5 \text{ Pa} \times 22.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{1 \text{ mol} \times 273.15 \text{ K}} = 8.31 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

理想气体状态方程式在实际应用时, 还有其他表达形式。因为

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

所以

$$pV = \frac{m}{M}RT \quad (1.5)$$

式中： m 为气体的质量； M 为气体的摩尔质量。该式也可写为：

$$p = \frac{m}{V} \cdot \frac{RT}{M}$$

设 $\frac{m}{V} = \rho$ ， ρ 是气体的密度，则

$$M = \frac{\rho RT}{p} \quad (1.6)$$

由式 1.6 可知，可借理想气体状态方程式来计算气体的摩尔质量，其数值上等于该气体的相对分子质量。

例 1.3 某氧气钢瓶的体积为 50 dm^3 ，室温为 293 K ，由气压表测得表压为 912 kPa ，试计算此钢瓶中所剩氧气的质量。

解：根据式 1.5，已知氧气的体积 $V = 50 \text{ dm}^3 = 0.05 \text{ m}^3$ ，温度 $T = 293 \text{ K}$ ，而氧气的压强 $p = \text{表压} + \text{外界压强} = (912 + 101.3) \text{ kPa} = 1013.3 \text{ kPa} = 1.01 \times 10^6 \text{ Pa}$ ，又知氧气的摩尔质量 $M = 32 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ，于是可以求出钢瓶中所含氧气的质量 m ：

$$m = \frac{MpV}{RT} = \frac{32 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 1.01 \times 10^6 \text{ Pa} \times 0.05 \text{ m}^3}{8.31 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 293 \text{ K}} = 6.64 \times 10^2 \text{ g}$$

答：钢瓶中所剩氧气的质量为 664 克。

例 1.4 当温度为 87°C ，压强为 $9.6 \times 10^4 \text{ Pa}$ 时， 0.4 L 的丙酮蒸气重 0.744 g ，求丙酮的相对分子质量。

解：已知 $T = (87 + 273) \text{ K} = 360 \text{ K}$ ， $p = 9.6 \times 10^4 \text{ Pa}$ ， $V = 0.4 \text{ L} = 4 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ ， $m = 0.744 \text{ g}$ 。因为

$$pV = \frac{m}{M}RT$$

所以

$$M = \frac{mRT}{pV} = \frac{0.744 \text{ g} \times 8.31 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 360 \text{ K}}{9.6 \times 10^4 \text{ Pa} \times 4 \times 10^{-4} \text{ m}^3} = 58.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

答：丙酮的相对分子质量是 58.0。

二、气体扩散定律

气体具有扩散性，若将装有氨水的瓶子打开，整个房间里很快都会闻到氨味，这是由于氨分子在空气中扩散的结果。这种由不同气态物质因分子运动而自发地互相混合的过程称为扩散。

气态物质中的分子极易扩散，因为理想气体分子间没有作用力，每个分子的运动都不受邻近分子的影响。即使是通常情况下的气体，其分子间虽具有吸引力，但这种吸引力较小，还不足以约束气体分子的自由运动，所以气体在敞开的环境中能自由扩散。

气态物质分子的扩散速度与气体分子的质量及外界条件如温度、压强等有关，因此，各种气体扩散的速度是不同的。在相同的温度和压强时，较重的气体扩散速度较