

高等学校试用教材

无机化学

上册

华南工学院无机化学教研组编

人民教育出版社

高等学校试用教材

无机化学

上册

华南工学院无机化学教研组编

人民教育出版社

高等学校试用教材

无机化学

上册

华南工学院无机化学教研组编

*

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民教育出版社印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/32 印张 11.25 插页 1 字数 270,000

1979年4月第1版 1979年11月第1次印刷

印数 00,001—16,000

书号 13012·0277 定价 0.83 元

编者的话

本书主要是根据一九七七年十一月“高等院校工科基础课化学课程教材编写会议”上制定的《无机化学》教材编写大纲而编写的。

根据教育部关于“同一门课程可以编写几种不同学术观点、不同体系和不同风格的教材”的指示精神，本书系结合我校多年来教学实践，在保持本门学科基本体系的前提下，采用理论部分和元素部分互相穿插、难点分散、难易结合的方式而编写的。在编写过程中，注意到：理论部分有机联系、前后呼应、散而不乱；元素部分仍保持元素周期律的系统；有选择地运用近代化学结构理论阐述元素和化合物的性质；内容的叙述由浅入深，力求通俗易懂，便于自学。

全书共十八章，分上下两册出版。用小字排印的为参考教材，供选学或自学用。本书适用于高等院校工科化工类专业，也可供冶金、地质类专业选用，以及供理科化学专业参考。

参加本书编写工作的有龙惕吾（编写第三、八、十七章）、庞杨榆（编写第二、五、十二、十八章）、黄定桢（编写第六、七、十四章）、黄宁兴（编写第四、九、十一、十五章）、陈继红（编写第一、十、十三、十六章）等同志^①。本书索引由张振民同志编制。

^①庞杨榆、黄宁兴二同志现已调广州暨南大学任教。

书稿经上海化工学院路琼华、陈德康，浙江大学李博达（特邀）、陈时琪、何大煜等同志主审，参加审稿的有上海纺织学院、天津大学、南京化工学院、北京工业学院、成都科技大学、武汉钢铁学院、浙江化工学院等院校的教师。审稿后，编者根据审稿意见作了修改，最后由龙惕吾同志定稿。

本书初稿完成后，经上海化工学院和华南工学院78级化工工艺专业学生试用，并蒙各任课老师提供许多建设性意见，给编写工作以很大的帮助，在此一并致以衷心感谢！

限于编者水平，书中错误和不妥之处在所难免，欢迎读者给予批评和指正。

编 者

1979年1月

目 录

编者的话.....	(1)
第一章 物质及其聚集状态	(1)
§ 1-1 物质及其运动.....	(1)
§ 1-2 气体.....	(3)
(一)气体方程式.....	(3)
(二)分压定律.....	(5)
§ 1-3 液体和溶液.....	(10)
(一)体系和相的概念.....	(10)
(二)液体的蒸气压.....	(11)
(三)稀溶液的通性.....	(14)
§ 1-4 固 体.....	(17)
(一)晶体的各向异性.....	(18)
(二)晶体有固定的熔点.....	(18)
(三)晶体有一定的几何外形.....	(19)
习 题.....	(19)
第二章 原子结构和元素周期律	(21)
§ 2-1 微观粒子的特征和原子光谱.....	(21)
(一)微观粒子的特征.....	(21)
(二)原子光谱.....	(23)
§ 2-2 核外电子的排布和运动状态.....	(25)
(一)电子云概念.....	(25)
(二)原子中各电子的运动状态.....	(26)
(三)波函数和原子轨道.....	(29)
(四)四个量子数.....	(31)
(五)原子的能级.....	(34)
§ 2-3 周期系中各元素的原子结构.....	(36)
(一)各周期元素的原子的电子层结构.....	(36)
(二)从原子结构理解元素周期律.....	(43)

(三)元素的分类	(45)
§ 2-4 原子结构与元素性质的关系	(45)
(一)影响元素金属性和非金属性的因素	(46)
(二)电离势、电子亲合势和电负性——元素的金属性非金属性强弱 的度量	(48)
(三)周期系中元素性质的递变	(53)
(四)元素的化合价	(55)
习 题	(59)
第三章 分子结构	(60)
§ 3-1 离子键	(61)
(一)离子键的形成	(61)
(二)离子的结构	(62)
§ 3-2 离子晶体	(65)
(一)晶格的概念	(66)
(二)离子晶体最简单的结构类型	(67)
* (三)晶格中离子的配位数	(70)
(四)离子晶体的晶格能	(72)
§ 3-3 共价键	(75)
(一)价键理论	(76)
(二)杂化轨道理论	(84)
(三)键能、键长和键角	(87)
(四)键的极性	(91)
§ 3-4 极性分子和非极性分子	(93)
§ 3-5 分子间力	(96)
(一)色散力	(98)
(二)诱导力	(99)
(三)取向力	(100)
§ 3-6 离子的极化	(101)
(一)离子极化的概念	(101)
(二)离子极化对物质结构的影响	(103)
习 题	(106)
第四章 氢 稀有气体	(108)
§ 4-1 氢	(108)

• 加星号的系小字教材。

(一)氢原子结构的特征和原子氢的性质	(108)
(二)氢气的性质	(109)
(三)重氢和重水	(111)
§ 4-2 水的特性和氢键	(112)
(一)水的特性	(112)
(二)氢键	(115)
§ 4-3 稀有气体	(117)
(一)稀有气体的结构和性质	(117)
(二)稀有气体的化合物	(119)
习 题	(121)
第五章 碱金属和碱土金属	(122)
§ 5-1 碱金属和碱土金属的通性	(122)
(一)元素的原子结构和性质	(122)
(二)单质的晶体结构和性质	(124)
§ 5-2 碱金属和碱土金属化合物的通性	(127)
(一)碱金属和碱土金属化合物的结构特征	(127)
(二)碱金属和碱土金属化合物的物理通性	(128)
(三)碱金属和碱土金属化合物的化学通性	(129)
(四)碱金属和碱土金属离子的鉴定	(131)
§ 5-3 碱金属和碱土金属的氧化物和氢氧化物	(131)
§ 5-4 碱金属和碱土金属重要的盐类	(135)
§ 5-5 硬水及其软化方法	(145)
(一)硬水的概念	(145)
(二)硬水的软化方法	(145)
习 题	(147)
第六章 化学反应速度和化学平衡	(149)
§ 6-1 化学反应速度	(149)
§ 6-2 影响化学反应速度的因素	(151)
(一)浓度的影响	(151)
(二)温度对反应速度的影响——活化分子理论概述	(158)
(三)催化剂对反应速度的影响	(162)
(四)非均相体系中的反应	(166)
§ 6-3 化学平衡	(168)

(一)化学平衡	(168)
(二)平衡常数	(170)
§ 6-4 化学平衡的移动	(180)
(一)浓度的改变对化学平衡的影响	(180)
(二)压力的改变对化学平衡的影响	(182)
(三)温度的改变对化学平衡的影响	(184)
(四)平衡移动的规律性	(185)
(五)催化剂与化学平衡的关系	(185)
习 题	(186)
第七章 电解质溶液和离子平衡	(189)
§ 7-1 强电解质溶液中离子浓度	(189)
(一)离子浓度	(190)
(二)强电解质溶液中离子浓度的计算	(190)
§ 7-2 电解质的电离平衡	(191)
(一)弱电解质的电离平衡	(191)
(二)弱电解质溶液中离子浓度的计算	(193)
(三)分步电离	(195)
* § 7-3 强电解质在溶液中的状况	(199)
* (一)缔合型强电解质和非缔合型强电解质	(199)
* (二)活 度	(200)
§ 7-4 水的电离和溶液的酸碱性	(201)
(一)水的离子积	(201)
(二)溶液的酸碱性和 pH 值	(202)
§ 7-5 电离平衡的移动	(207)
(一)在弱电解质溶液中的同离子效应	(207)
(二)溶液的稀释	(209)
§ 7-6 盐类水解	(209)
(一)由一元弱酸或一元弱碱所成盐的水解	(210)
(二)分步水解	(214)
(三)影响水解的因素	(215)
§ 7-7 缓冲溶液	(218)
(一)缓冲溶液的特性	(218)
(二)缓冲作用	(219)
(三)缓冲溶液 pH 值的计算	(220)

§ 7-8 酸碱的质子理论	(225)
(一) 酸碱的概念	(226)
(二) 酸碱的相对强度	(227)
(三) 酸度常数和碱度常数	(228)
* (四) 在不同溶剂中酸碱的强度和溶剂的水平效应	(231)
§ 7-9 难溶电解质的沉淀和溶解	(232)
(一) 溶度积	(233)
(二) 难溶电解质沉淀的生成和溶解的规律	(236)
(三) 有关溶度积的一些应用和计算示例	(239)
* § 7-10 离子互换反应及其平衡常数的推导	(242)
* (一) 生成沉淀的反应	(243)
* (二) 难溶电解质沉淀的转化	(243)
* (三) 强酸与弱酸盐的反应	(244)
* (四) 一元弱酸和强碱的中和反应	(244)
* (五) 溶液中某离子和弱电解质沉淀剂的反应	(245)
习 题	(245)
第八章 硼、铝、碳、硅及其同族元素	(249)
§ 8-1 硼族元素的通性	(249)
§ 8-2 硼的化合物	(251)
(一) 硼的氢化物	(251)
(二) 硼的卤化物	(253)
(三) 硼的含氧化合物	(255)
§ 8-3 铝的化合物	(258)
(一) 铝的含氧化合物	(258)
(二) 铝的卤化物	(261)
§ 8-4 碳族元素的通性	(263)
§ 8-5 碳的同素异形体	(265)
(一) 金刚石和石墨	(265)
* (二) 炭黑、吸附作用	(270)
§ 8-6 碳的简单化合物	(271)
(一) 碳的含氧化合物	(271)
* (二) 碳化物	(276)
§ 8-7 硅的重要化合物	(277)
(一) 二氧化硅	(277)

(二) 硅酸和硅胶	(280)
(三) 硅酸盐	(281)
(四) 天然硅酸盐	(282)
(五) 分子筛	(285)
(六) 同类型硅的化合物和碳的化合物的比较	(288)
§ 8-8 锡和铅的重要化合物	(289)
(一) 氧化物和氢氧化物的酸碱性	(289)
(二) Sn(II) 的还原性和 Pb(IV) 的氧化性	(291)
(三) 锡、铅的盐类的水解	(291)
(四) 锡、铅的硫化物和硫代酸盐	(292)
习 题	(293)
第九章 氧化还原反应 电化学基础	(295)
§ 9-1 氧化还原反应	(295)
(一) 氧化和还原	(295)
(二) 氧化剂和还原剂	(296)
(三) 氧化还原反应方程式的配平	(299)
§ 9-2 原电池	(303)
§ 9-3 电极电位	(305)
(一) 电极电位的产生	(306)
(二) 电极电位的确定	(307)
(三) 影响电极电位的因素	(314)
§ 9-4 电极电位的应用 电位图	(316)
(一) 比较氧化剂和还原剂的相对强弱	(316)
(二) 预测氧化还原反应可能进行的方向和次序	(317)
(三) 判断氧化还原反应进行的程度	(320)
(四) 电极电位与酸度的关系——电位-pH图	(322)
(五) 用离子-电子法配平氧化还原反应方程式	(325)
(六) 电位图	(328)
§ 9-5 电解	(331)
(一) 电解池	(331)
(二) 分解电压	(332)
习 题	(335)
附录 I 本书所用的有关单位	(338)
附录 I 国际原子量表	(342)
附录 II 标准电极电位 (18—25 °C)	(344)

第一章 物质及其聚集状态

§ 1-1 物质及其运动

自然科学研究的对象是运动着的物质。化学是自然科学的一门分支。人类认识物质是从自己周围的事物开始的。从地球上各式各样的物体到宇宙间的繁星，从分子、原子到基本粒子都是物质的各种具体形态。按物质的相对大小，可以分割成一系列容易分清的层次。这种物质构造的无限层次大致可分：……恒星系—太阳系—地球上宏观物体—分子—原子—原子核—基本粒子……

基本粒子包括有电子、质子、中子等等。目前，我们发现的基本粒子有三百多种。这些基本粒子并不是最基本的，它们仍有复杂的结构，可以继续无限分割下去。物质构造各个层次之间，既有质和量的区别，也存在着中间过渡状态，没有绝对的界限。

到目前为止，人类已经认识了107种元素的原子。这107种元素的原子运动结合方式不同，形成了几百万种不同的分子，构成了几百万种的各式各样的物质具体形态。化学上，为了叙述方便，通常就把这各式各样的物质具体形态，说成是各种不同的物质。例如，水是由水分子组成，水是一种物质；氢气是由氢分子组成，它不同于水，所以氢气是另一种物质。分子是物质中能够独立存在并保持该物质一切化学特性的最小微粒，它是由原子（包括离

子)组成^①。原子是由带正电荷的原子核和绕核运动着的、与核电荷数目相等的电子所组成。在一般化学反应中,原子核不发生变化。所以化学上,主要是从原子和分子这两个层次去研究物质的运动。

运动是物质存在的形式。“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形式。”^②恩格斯根据自然界(不包括人类社会)各种基本运动形式的特点,把它归纳为四大类:机械运动;物理运动;化学运动;有机界运动。化学运动区别于其它运动的特殊矛盾,就是化分与化合这一对矛盾。

碳氢化合物及其衍生物称为有机(化合)物。除有机物以外的所有物质(也包括所有元素)统称为无机物。无机化学的内容,主要是研究无机物的组成、结构、性质、制备、应用及其运动变化的基本原理。

任何物质都存在着吸引和排斥这一对矛盾。

物质中吸引与排斥是复杂的。一般来说,它与粒子^③结构、粒子间相互作用力以及粒子热运动有关。矛盾对立的双方,总是有主次之分,事物的性质就是由取得支配地位的矛盾主要方面来决定。当粒子之间排斥占优势时,则物质表现为气态。气体无一定的体积、形状。当粒子之间吸引占优势时,则物质表现为固态。固体有一定的体积、形状。液体则处于气体与固体之间,一般来

① 许多物质,例如,金属铁是由许许多多铁原子组成的,这整块铁可看成是一个大分子。

② 《毛泽东选集》,人民出版社,1968年,283页。

③ 粒子指分子、原子或离子。

说，吸引略占优势，所以它有一定表面而无一定形状。这就是我们通常所说的“物质三态”。

同一物质的气、液、固三种聚集状态，依一定条件可以相互转化。晶体熔化为液体，需要吸收热量。在1大气压下，1摩晶体，在它的熔点时转变成液体所吸收的热量，叫做熔化热。例如，冰的熔化热是6.008kJ/mol。液体蒸发为气体也要吸收热量。在恒温下，1摩液体，转化为气体时，所吸收的热量叫做气化热。在气化热数据中如无标明温度，通常就是指该液体在正常沸点时的气化热。例如，水的气化热40.62kJ/mol，是指在100℃时的气化热。由此可见，同一物质具有的能量，以在固态时为最低，液态次之，气态最高。反之，将气体凝结为液体将要放出能量，液体凝成固体也要放出能量。

§ 1-2 气 体

气体的特点是：分子间距离比较大，相互作用力小，容易压缩，没有一定的形状。把它放在容器内，总是自动扩散充满整个容器。气体分子作无规则热运动，它们不断和器壁碰撞而产生压力。我们常常通过测量气体的压力、温度和体积，来确定气体质量的多少。这四者之间的关系，可用气体方程式来表示。

(一) 气体方程式

从中学物理学知道：对一定量气体来说，气体的压力(P)、体积(V)和温度(T)三者之间存在如下关系：

$$\frac{PV}{T} = \frac{P_0V_0}{T_0} \quad (1-1)$$

通过(1-1)式，可以把一定量的气体，从非标准状况下的体积，换算为标准状况下的体积。

在标准状况下，1摩理想气体①的体积为 $22.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ ，故

$$\begin{aligned}\frac{PV}{T} &= \frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{101325 \text{ Pa} \times 22.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{mol}}{273 \text{ K}} \\ &= 8.31 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \textcircled{2}\end{aligned}$$

设 $R = 8.31 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ ，则

$$PV = RT \quad (1-2)$$

R 称为摩尔气体常数。显然 R 的数值与选用标准状况下压力和体积的单位有关。若压力用大气压、体积用 dm^3 作单位，则

$$R = \frac{1 \text{ atm} \times 22.4 \text{ dm}^3 / \text{mol}}{273 \text{ K}} = 0.082 \text{ atm} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

若是 n 摩的气体， R 值仍不变。因在标准状况下， n 摩的气体体积为 $n \times 22.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ ，故

$$\frac{PV}{T} = \frac{101325 \times n \times 22.4 \times 10^{-3}}{273} = n \times 8.31 = nR$$

$$\text{即 } PV = nRT \quad (1-3)$$

(1-3)式称为气体方程式。它适用于任何摩尔数的气体。根据摩尔的定义，摩尔数 n 应为：

$$n = \frac{\text{物质的质量 } m \text{ (千克)}}{1 \text{ 摩尔物质的质量 } M \text{ (千克)}}$$

M 的数值等于分子量的千分之一。将 n 代入(1-3)式得：

$$PV = \frac{m}{M} RT \quad (1-4)$$

在上式 P 、 V 、 m 、 M 、 T 五个量中，知其任四个即可求另一个。

这里需要指出：(1) 上述气体方程式中，温度的单位一律用

① 人们把假想的、严格遵循有关气体基本定律的气体称为理想气体。从微观的角度来看，它们是分子本身的体积和分子间的作用力都可以忽略不计的气体。

② 准确数字请参阅国际单位，这里取的是约数。因 $\text{Pa} = \text{N} \cdot \text{m}^{-2}$ ，所以 $\text{Pa} \cdot \text{m}^3 = \text{N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{m}^3 = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J}$ ，则 R 的单位为 $\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

开(K)，而压力、体积单位则可以任定。但计算时， R 的数值单位应与之相符，否则会产生错误。(2)上述气体方程式适用于理想气体。由于分子本身占有一定体积和分子间存在着作用力，故气体方程式应用于实际气体时，会出现不同程度的偏差。分子间作用力随着分子间距离缩小而迅速增大。因此，实际气体在温度较高、压力较小时，偏差不显著，计算时，常把它看成理想气体。在温度较低、压力较高时，偏差较大，计算时，常要根据实验结果，在方程式中引入修正因素①。

(二)分压定律

在生产和科学实验上，常会遇到由几种气体组成的气体混合物。实验研究表明，上述有关气体定律同样适用于气体混合物。只要各组分气体之间互不反应、互不干扰，就可视为它们各自单独存在时一样。

从气体方程式 $PV = nRT$ 可知：在一定温度和一定体积之下，压力的大小与容器中所含气体的摩尔数 n 成正比，而与气体的种类无关。

设在某一定容器中(容积为 V)，含有 n_A 摩气体A，则它所产生的压力为：

$$P_A = \frac{n_A}{V} RT \quad (1-5)$$

若在这容器中，加进与气体A不起化学反应而且具有相同温度的气体B，并设加进的量为 n_B 摩尔，则气体B所产生的压力为：

$$P_B = \frac{n_B}{V} RT \quad (1-6)$$

① 这时可近似地用 $(P + a/V^2)(V - b) = nRT$ 方程式描述。式中 a 和 b 是常数，可由实验确定，对不同气体有不同的数值。

如在这容器中，再增加与气体 A、B 都不起化学反应而且具有相同温度的气体 C，并设加进的量为 n_C 摩尔，则气体 C 所产生的压力为：

$$P_C = \frac{n_C}{V} RT \quad (1-7)$$

这时容器内，混合气体所含气体的总摩尔数为：

$$n_{\text{总}} = n_A + n_B + n_C$$

其总压力为：

$$P_{\text{总}} = \frac{n_{\text{总}}}{V} RT = \frac{n_A + n_B + n_C}{V} RT \quad (1-8)$$

$$\text{即：} \quad P_{\text{总}} = P_A + P_B + P_C \quad (1-9)$$

在这混合气体中，某组分气体所产生的压力称为该组分气体的分压。它等于该组分气体单独占有与混合气体相同体积、相同温度时的压力。

从 (1-9) 式可知：混合气体的总压力等于各组分气体的分压之和，这关系就叫做分压定律。

若 (1-8) 分别除 (1-5)、(1-6)、(1-7) 式，则得：

$$\frac{P_A}{P_{\text{总}}} = \frac{n_A}{n_{\text{总}}} \quad \frac{P_B}{P_{\text{总}}} = \frac{n_B}{n_{\text{总}}} \quad \frac{P_C}{P_{\text{总}}} = \frac{n_C}{n_{\text{总}}}$$

这就是说，在混合气体中，某一组分的分压 ($P_{\text{分}}$) 与总压 ($P_{\text{总}}$) 之比等于该组分的摩尔数 ($n_{\text{分}}$) 与总摩尔数 ($n_{\text{总}}$) 之比。即

$$P_{\text{分}}/P_{\text{总}} = n_{\text{分}}/n_{\text{总}}$$

$n_{\text{分}}/n_{\text{总}}$ 称为某一组分的摩尔分数，若乘以 100% 则称为摩尔百分数。

用压力表测量混合气体的压力，得到的是总压力。而其组分