

高等师范院校试用教材

普通化学

● 地理专业

华中师范大学化学系 编
刘瑾懋 乐芝凤 张玉兰



高等师范院校试用教材

普通化学

(地理专业)

华中师范大学化学系
刘谨懋 乐芝凤 张玉芳 编

高等教育出版社

内 容 提 要

本书是根据高等师范院校地理专业试用的《化学教学大纲》编写的。全书共分十章,即:气体定律和稀溶液通性,化学反应速度和化学平衡,电解质溶液和电离平衡,原子结构和元素周期系,化学键和晶体结构,氧化还原反应,氧、硫、碳、硅,胶体,配位化合物,过渡元素及镧系、锕系元素简介,为结合地理专业的教学需要,本书在内容上对地球的自然环境和气候、地质、水文、土壤、生物等与化学的关系,做了初步的介绍,并应用配位化合物的知识对一些矿物的形成和迁移做了简要的说明。每章开始均有内容提要,章末附有习题。

本书可供师范院校地理专业教学使用,也可供其它有关专业教学参考。

高等师范院校试用教材

普 通 化 学

(地理专业)

华中师范大学化学系

刘谨懋 乐芝凤 张玉兰 编

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京第二新华印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 12.5 插页 1 字数 302,000

1986年3月第1版 1986年3月第1次印刷

印数 00,001—5,160

书号 13010·01171 定价 2.20 元

编写说明

本书是根据教育部1980年5月在长春召开的高等学校理科化学教材编委会(扩大)审订的《高等师范院校地理专业化学教学大纲》(52学时,四年制试用)编写的,可供师范院校地理专业试用。

在编写教材时,注意了与全日制十年制化学教材的衔接;注意了由浅入深、循序渐进、理论联系实际等原则的贯彻。鉴于国内外教材发展情况以及地理专业的实际需要,教材中增加了化学热力学一些基本知识的介绍。考虑到大纲中规定的时数较少和教学的实际效果,其中“有机化学和生物化学简介”一章没有编入本书。

本书共分十章。参加编写工作的有张玉兰(编写第一、二、三章),乐芝凤(编写第六、七、八章)、刘谨懋(编写绪言和第四、五、九、十章)。初稿于1982年下半年完成,同年12月初在武汉召开了审稿会议。参加审稿会的有陕西师范大学(耿啟辉)、华东师范大学(赵泓)、福建师范大学(蔡秀真)、河南大学(胡天序)、西南师范大学(曾道康)、南京师范大学(钱亚英)、天津师范大学(张蜀辰)、湖南师范大学(陈淑蓉、欧阳勳)、湖北大学(胡月英)和华中师范大学地理系(牟瑞霞)等单位。与会同志对初稿提出了许多宝贵意见。会后根据审稿者意见作了修改,并在华中师范大学地理系83届学生中进行了试用,最后由刘谨懋负责定稿。

编写过程中,华中师范大学无机化学教研室罗伯儒副教授、石巨恩副教授、阮德水老师通阅了全稿,教研室的其他同志审阅了部分章节,并提出不少建设性意见,地理系的牟瑞霞同志根据地理专业的教学内容,为本书联系专业实际提供了一些素材,在此一并谨致谢意。

由于编者水平有限,经验不足,对兄弟院校的先进经验学习不够,书中缺点和错误在所难免,切望使用本教材的同志们予以批评指正。

编 者 一九八四年十一月

目 录

绪言	1
第一章 气体定律和稀溶液通性	3
§ 1-1 气体定律	3
§ 1-2 稀溶液的通性	12
习题	23
第二章 化学反应速度与化学平衡	25
§ 2-1 化学反应速度	25
§ 2-2 化学反应中的能量关系	40
§ 2-3 化学反应方向的判断——熵、自由能	50
§ 2-4 化学平衡	56
§ 2-5 化学平衡的移动	68
习题	78
第三章 电解质溶液和电离平衡	81
§ 3-1 弱电解质的电离平衡	81
§ 3-2 水的电离和 pH 值	92
§ 3-3 强电解质的电离	102
§ 3-4 盐类的水解	103
§ 3-5 缓冲溶液	112
§ 3-6 酸碱质子理论	118
§ 3-7 沉淀——溶解平衡	121
习题	135
第四章 原子结构和元素周期系	138
§ 4-1 氢原子光谱和玻尔理论	138
§ 4-2 氢原子的结构	144
§ 4-3 多电子原子的结构	155
§ 4-4 元素性质与原子结构的关系	167

习题	173
第五章 化学键与晶体结构	177
§ 5-1 化学键	177
§ 5-2 分子间力和氢键	196
§ 5-3 晶体结构	202
§ 5-4 离子的极化	212
习题	216
第六章 氧化还原反应	218
§ 6-1 氧化还原反应	218
§ 6-2 原电池和电极电势	228
§ 6-3 标准电极电势的应用	238
§ 6-4 影响电极电势的因素	244
§ 6-5 电势-pH 图	249
§ 6-6 土壤中的氧化还原状态	254
习题	255
第七章 氧、硫、碳、硅	258
§ 7-1 氧、硫	259
§ 7-2 碳、硅	286
习题	300
第八章 胶体	302
§ 8-1 分散体系	302
§ 8-2 溶胶的制备与特性	307
§ 8-3 胶体粒子的结构	314
§ 8-4 溶胶的稳定性和聚沉	321
§ 8-5 高分子溶液及其对胶体的保护作用	323
习题	325
第九章 配位化合物	326
§ 9-1 配位化合物的基本概念	326
§ 9-2 配位化合物的结构	329
§ 9-3 配离子在溶液中的离解平衡	338
§ 9-4 螯合物	341

§ 9-5 配位化合物的应用简介·····	343
习题·····	345
第十章 过渡元素及镧系、锕系元素简介·····	347
§ 10-1 过渡元素的通性·····	347
§ 10-2 铜和银·····	351
§ 10-3 锌和汞·····	356
§ 10-4 钛和钒·····	359
§ 10-5 铬、钼、钨·····	361
§ 10-6 锰·····	365
§ 10-7 铁、钴、镍·····	368
§ 10-8 镧系元素和锕系元素简介·····	373
习题·····	377
附录一 国际单位制和一些基本的物理常数及常用的 单位换算·····	379
附录二 物质的热力学性质·····	383
附录三 标准电极电势·····	386
附录四 元素在地壳(包括大气层、水层和岩石层) 中的含量(重量%)·····	390
附录五 国际原子量表·····	392

绪 言

化学是一门基础自然科学。它的研究对象是各种物质的组成、结构、性质以及物质的变化和伴随着这些变化所发生的种种现象。化学是从生产实践和生活实践中产生的，随着科学技术和生产的日益发展，其应用范围越来越广泛，可以说几乎没有一个生产部门能离开化学。

化学是人们籍以了解自然和改造自然的有力武器。我们运用化学原理和方法，不但能将自然界里的天然资源(空气、水、矿石、食盐、煤和石油等)制成各式各样的无机物、有机物、金属和非金属等产品，而且还可以制造出许多自然界本身不存在的人工合成产品如合成树脂、合成橡胶、化学纤维和医药等，以满足工农业生产、国防建设和人民物质生活和精神生活的需要。

当前世界各国关心的新能源开发、粮食增产、环境保护、计划生育、新型化肥和农药的制造等重大课题，都和化学有着密切的关系。

随着科学技术的不断进步，自然科学各学科之间的相互联系、相互渗透的情况比以往任何时候更为明显、更为深入。化学与地理学之间的关系也很密切，地理学的一个分支科学——自然地理学，其研究的对象是地球表面的自然环境。而组成自然环境的各个要素如气候、地质、地貌、水文、土壤、生物等，均与化学有着直接的联系。例如，气候变化和气候异常在一定程度上与大量的二氧化碳进入大气有关；地表“铁帽”的形成与金属硫化物矿床发生的氧化还原反应有关；海相沉积矿床的形成与水的 pH 值和胶体的性质有关；海水的温度、密度、颜色和透明度与海水的化学成分有

关。此外，生物和土壤与化学之间的关系就更为明显了。生物界即有机界，而土壤的形成正是无机界与有机界相互作用的结果。

由于环境污染问题的提出，导致一门新的自然科学——环境科学——的形成。地理环境的污染过程，环境的质量调查、评价和预测，污染对生态的影响等，都是环境科学和地理学共同研究的任务，这里需要运用大量的化学原理和化学知识。

普通化学在高等师范地理专业的教学计划中是一门基础课。本课程的教学目的是使学生掌握必需的化学基本理论、基本知识和基本技能，了解这些理论、知识和技能在地理学上的应用；培养分析和解决与化学有关的一些实际问题的能力；培养辩证唯物主义观点；为今后学习地理专业的后继课程及新理论、新技术打下必要的化学基础，以适应四化建设的需要。

根据课程的性质和任务，本书内容包括两部分：基础理论部分和元素化学部分。基础理论部分是在高中化学的基础上，阐述物质结构、化学平衡和氧化还原等基础理论，元素化学部分因限于篇幅，只是结合地理专业的需要，讨论几种非金属和一些过渡金属的单质及其主要化合物。在内容安排上，理论部分和元素部分略有穿插，以加强相互联系。为了帮助学生掌握教材的重点，各章开始之前，写有内容提要。本书各章附有习题，目的是让学生巩固所学的基本概念，掌握某些基本的运算及练习用理论来处理实际问题的能力。

第一章 气体定律和稀溶液通性

内容提要 介绍气体的通性，着重讨论气体状态方程式和分压定律及其应用。了解难挥发非电解质稀溶液的蒸气压下降、沸点上升、凝固点下降、渗透压的依数性和它们的实际意义。

§1-1 气体定律

气态、液态和固态是我们常见的物质三种聚集状态。各种状态都有其特征，且在一定条件下可以互相转化。本节仅讨论物质聚集状态中最简单的一种——气体，通过对气体的讨论，了解它的通性及其基本定律。

一、气体的通性

所有气体物质都是大量分子(多原子分子或单原子分子)的集合体。在 0°C 和 1 atm 下，气体分子间的距离大约是分子直径的 10 倍，所以，气体密度小，分子间空隙大，在压力的作用下具有很大的压缩性。

由于在一定量的气体中气体分子的数目很大，运动速度又快，所以分子间的碰撞是十分频繁的。分子间的互相碰撞，使其运动方向不断地改变，因此气体没有一定的形状，能充满它所能到达的空间。

一种气体分子能在另一种气体分子间运动进行相互扩散，所以不同的气体可以以任何比例相混合。自然界中气体的扩散现象对大气的组成起很大的作用，它使地球表面附近的大气保持相同的成份。

二、气体状态方程式

人们对气体的压缩性和热胀冷缩的现象是早已了解的。在这些现象的基础上,早在 1662 年波义耳(R. Boyle)通过实验提出:在恒温下,一定质量的气体的体积 V 与它的压力 p 成反比。即

$$V \propto \frac{1}{p} \quad (1-1)$$

后来,查理(Charles)根据实验进一步提出;在恒压下,一定质量的气体的体积 V 与它的热力学温度即绝对温度 T ①成正比。即

$$V \propto T \quad (1-2)$$

将(1-1)、(1-2)两式联系起来,得

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

若以 K 为比例常数,则

$$V = K \frac{T}{p}$$

或

$$\frac{pV}{T} = K$$

若气体的量是一摩尔,则常用摩尔气体常数 R 来代替 K , 于是

$$pV_m = RT \quad (1-3)$$

式中 V_m 代表 1 摩尔气体的体积,如有 n 摩尔气体,则

$$V = nV_m$$

代入(1-3)式,得

$$pV = nRT \quad (1-4)$$

根据摩尔质量的定义,物质的量 n 为

① 热力学温度 $T = 273.15 + t$ (t 表示摄氏温度)它的单位名称是开[尔文], 单位符号 K。

$$n = \frac{\text{物质的质量}(m)}{\text{物质的摩尔质量}(M)}$$

因此, (1-4)式就可以写成

$$pV = \frac{m}{M}RT \quad (1-5)$$

(1-4)式称为理想气体状态方程式。理想气体是设想的气体, 它要求气体分子间没有相互作用, 分子本身没有体积。真实气体都不能满足这个条件。但是在低压和较高温度下的气体, 分子间距离很大, 相互作用极为微弱, 分子本身的体积相对于整个气体的体积可以忽略不计, 因此, 可以近似地看作是理想气体。显然, 压力越低、温度越高, 就越是接近理想气体, 这时(1-4)式的适用性也就越好。

摩尔气体常数 R 的数值随压力和体积的单位不同而异, 但与气体种类无关。如果体积以升(L), 压力以大气压(atm)为单位, 已知 1 摩尔(mol)任何气体在标准状况(273.15 K, 1 atm)下, 体积为 22.414 L。把这些数值代入(1-4)式, 得

$$1 \text{ atm} \times 22.414 \text{ L} = 1 \text{ mol} \times R \times 273.15 \text{ K}$$

$$\begin{aligned} R &= \frac{1 \text{ atm} \times 22.414 \text{ L}}{1 \text{ mol} \times 273.15 \text{ K}} \\ &= 0.08206 \text{ atm} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \end{aligned}$$

如果体积以米³(m³)为单位①, 压力以帕斯卡 为单位(符号为 Pa (帕), 1 大气压 = 1.01325 × 10⁵ 帕)。计算可得

$$\begin{aligned} R &= \frac{1.01325 \times 10^5 \text{ Pa} \times 22.414 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{1 \text{ mol} \times 273.15 \text{ K}} \\ &= 8.3145 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \end{aligned}$$

或

① 1 立方米 = 10³ 升

$$R = 8.3145 \text{ J}^{\text{①}} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

当压力用毫米汞柱(mmHg), 体积用毫升(ml)表示时, 则

$$\begin{aligned} R &= \frac{760 \text{ mmHg} \times 22.414 \times 1000 \text{ ml}}{1 \text{ mol} \times 273.15 \text{ K}} \\ &= 62364 \text{ mmHg} \cdot \text{ml} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \end{aligned}$$

计算时可根据 p 、 V 所用的单位, 选用相应的 R 值。

现将常用的 R 值及其单位列于下表:

pV 的单位	R 值	R 的单位
$\text{Pa} \cdot \text{m}^3$	8.3145	$\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 或 $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
$\text{Pa} \cdot \text{L}$	8314.5	$\text{Pa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
$\text{atm} \cdot \text{L}$	0.08206	$\text{atm} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
$\text{mmHg} \cdot \text{ml}$	62364	$\text{mmHg} \cdot \text{ml} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

在要求不是很精确的计算中, R 的值取 3 位有效数字即可。

例 1-1 在 68°C 和 768 mmHg 下, 151 ml 某蒸气重 1.384 g , 问这种蒸气的分子量是多少?

解 将各数值代入 (1-5) 式中, 得

$$\begin{aligned} M &= \frac{1.384 \text{ g} \times 0.08206 \text{ atm} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times (273 + 68) \text{ K}}{\frac{768 \text{ mmHg}}{760 \text{ mmHg}} \times 0.151 \text{ L}} \\ &= 254 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \end{aligned}$$

这种蒸气的分子量是 254。

三、气体分压定律

若把彼此间不会发生化学变化的几种气体放在容积为 V 的容器中, 由于气体的扩散性, 它们可以很均匀地混合在整个容器中。如果这时气体分子之间的引力小到可以忽略不计, 这样就可以认

① J(焦) 是国际单位制中功的单位, 通常还可表示为牛顿米($\text{N} \cdot \text{m}$)、瓦特秒($\text{W} \cdot \text{s}$)、帕斯卡立方米($\text{Pa} \cdot \text{m}^3$)。

为分子之间互不影响,如同单独存在一样。所以气体状态方程式不仅能应用于纯气体,也可用于多组分的混合气体。所谓分压,就是指在同一温度下,各组分气体占据与混合气体相同体积时,所具有的压力,也就是混合气体中任一组分气体对器壁所施的压力。

设 $p_1, p_2, p_3, \dots, p_i$ 和 $n_1, n_2, n_3, \dots, n_i$ 依次为混合气体内组分气体 1、2、3、 $\dots$ 、 i 的分压力和摩尔数^①, V 为混合气体的体积, 根据气体状态方程式, 各组分气体的分压力为

$$\left. \begin{aligned} p_1 &= \frac{n_1}{V} RT \\ p_2 &= \frac{n_2}{V} RT \\ p_3 &= \frac{n_3}{V} RT \\ &\vdots \\ p_i &= \frac{n_i}{V} RT \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

在容器中, 混合气体的总摩尔数为

$$n_{\Sigma} = n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_i$$

混合气体的总压力

$$\begin{aligned} p_{\Sigma} &= \frac{n_{\Sigma}}{V} RT \\ &= \frac{n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_i}{V} RT \end{aligned} \quad (1-7)$$

将(1-6)式代入(1-7)式, 得

$$p_{\Sigma} = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_i$$

上式就是道尔顿 (J. Dalton) 分压定律的数学表达式, 若用

^① 物质的量 n 是国际单位制的基本单位摩尔的量的名称。过去习惯把 n 称作“摩尔数”, 有如把 m 称作“千克数”把 l 称作“米数”一样是不合理的, 因为 n, m, l 是量的符号而不是数字的符号。本书为方便还是用了摩尔数。

文字叙述即：混合气体的总压力等于该混合气体中各组分气体的分压力之和，而某一组分气体在混合气体中的分压力等于它单独占有与混合气体相同体积时所产生的压力。

若用(1-7)式分别除(1-6)式，得

$$\left. \begin{aligned} \frac{p_1}{p_{\text{总}}} &= \frac{n_1}{n_{\text{总}}} \\ \frac{p_2}{p_{\text{总}}} &= \frac{n_2}{n_{\text{总}}} \\ &\vdots \\ \frac{p_i}{p_{\text{总}}} &= \frac{n_i}{n_{\text{总}}} \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

(1-8)式左边 $\frac{p_1}{p_{\text{总}}}, \frac{p_2}{p_{\text{总}}}, \dots, \frac{p_i}{p_{\text{总}}}$ 是组分气体的分压与总压之比，右边的

$\frac{n_1}{n_{\text{总}}}, \frac{n_2}{n_{\text{总}}}, \dots, \frac{n_i}{n_{\text{总}}}$ 是组分气体的摩尔数与混合气体的总摩尔数的比值

称为摩尔分数(即是某气体的摩尔数占总摩尔数中的几分之几)，

将(1-8)式移项可得

$$\left. \begin{aligned} p_1 &= \frac{n_1}{n_{\text{总}}} \cdot p_{\text{总}} \\ p_2 &= \frac{n_2}{n_{\text{总}}} \cdot p_{\text{总}} \\ p_3 &= \frac{n_3}{n_{\text{总}}} \cdot p_{\text{总}} \\ &\vdots \\ p_i &= \frac{n_i}{n_{\text{总}}} \cdot p_{\text{总}} \end{aligned} \right\} \quad (1-9)$$

(1-9)式说明混合气体中某组分气体的分压力，等于总压力乘以该组分气体的摩尔分数。

用压力计测量混合气体总压力比较容易，而直接测量分压力是很困难的。因此，一般通过气体分析测量出各组分气体的分体

积后再计算其分压力。

与混合气体的总压力等于各组分气体的分压力之和相类似, 在 T 、 p 一定时, 混合气体的总体积等于组成该混合气体的各组分气体的分体积之和, 即

$$V_{\text{总}} = V_1 + V_2 + \cdots + V_i$$

所谓分体积是指某组分气体单独存在, 其温度和压力与混合气体的温度和总压力相同时所占的体积。根据气体状态方程式, 每一组分气体的分体积为

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= \frac{n_1 RT}{p_{\text{总}}} \\ V_2 &= \frac{n_2 RT}{p_{\text{总}}} \\ &\vdots \\ V_i &= \frac{n_i RT}{p_{\text{总}}} \end{aligned} \right\} \quad (1-10)$$

混合气体的总体积为

$$V_{\text{总}} = \frac{nRT}{p_{\text{总}}} \quad (1-11)$$

若用(1-11)式分别除以(1-10)式, 得

$$\left. \begin{aligned} \frac{V_1}{V_{\text{总}}} &= \frac{n_1}{n_{\text{总}}} \\ \frac{V_2}{V_{\text{总}}} &= \frac{n_2}{n_{\text{总}}} \\ &\vdots \\ \frac{V_i}{V_{\text{总}}} &= \frac{n_i}{n_{\text{总}}} \end{aligned} \right\} \quad (1-12)$$

综合(1-8)、(1-12)式, 得

$$\frac{p_i}{p_{\text{总}}} = \frac{n_i}{n_{\text{总}}} = \frac{V_i}{V_{\text{总}}}$$

或

$$p_i = p_{\text{总}} \frac{V_i}{V_{\text{总}}}$$

因此知道总压力和 $\frac{V_i}{V_{\text{总}}}$ 的比值, 即可计算出某一组分气体的分压力。

现举例说明分压定律的应用。

例 1-2 已知某地空气中 N_2 、 O_2 、 CO_2 的含量分别为 78%、21%、1% (体积百分数), 计算 0°C 、1 atm 下各组分气体的分压力。

解 100 L 空气在标准状态下的总摩尔数为

$$n_{\text{总}} = \frac{100}{22.414}$$

空气中 N_2 的摩尔分数为

$$\frac{n_{\text{N}_2}}{n_{\text{总}}} = \frac{\frac{78}{22.414}}{\frac{100}{22.414}} = 0.78$$

O_2 的摩尔分数为

$$\frac{n_{\text{O}_2}}{n_{\text{总}}} = \frac{\frac{21}{22.414}}{\frac{100}{22.414}} = 0.21$$

同理, CO_2 的摩尔分数为 0.01。将其值分别代入 (1-9) 式, 算出各组分的分压力

$$p_{\text{N}_2} = 1 \times 0.78 = 0.78 \text{ atm}$$

$$p_{\text{O}_2} = 1 \times 0.21 = 0.21 \text{ atm}$$

$$p_{\text{CO}_2} = 1 \times 0.01 = 0.01 \text{ atm}$$

即某地空气中 N_2 的分压力为 0.78 atm, O_2 的分压力为 0.21 atm, CO_2 的分压力为 0.01 atm。

在实验时, 我们常用排水集气的方法收集难溶于水的气体。因此, 气体中常含有饱和水蒸气。所以必须从测得的总压力中减去饱和水蒸气的压力, 以求得该气体的压力。饱和水蒸气的压力在某一温度时有一定的数值, 可从表 1-1 中查出。

例 1-3 在标准状况下将 0.100 g 氢气, 0.500 g 氮气和 0.410 g 氩气贮存于容器中。如果这三种气体之间不发生相互作用, 则容器的体积必须是多