

高等专科学校试用教材

化 学

王 积 宏 主 编

机 械 工 业 出 版 社

6

7

GAOZHUANJIAOCAI

高等专科学校试用教材

化 学

王积宏 主编

机械工业出版社

化 学

王积宏 主编

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $13\frac{1}{4}$ · 字数 321 千字

1984 年 11 月北京第一版·1984 年 11 月北京第一次印刷

印数 0,001—8,700 · 定价 2.10 元

*

统一书号: 15033 · 5777

前 言

本书是高等专科学校机电类的试用教材。是根据机械工业部教育局初步审定的招收高中毕业生、学制为三年的化学教学大纲组织编写的。

全书包括气体定律和稀溶液的依数性、化学反应速度和化学平衡、电解质溶液、氧化还原与电化学、原子结构与元素周期系、化学键与分子结构、常用无机材料、常用有机材料等，共八章及九个实验。

编写本书时，注意了与1980年中学化学大纲（全日制十年制学校）和教材的衔接，注意了高等专科学校的特点及学生入校的实际水平。取材力求理论联系实际、联系生产；文字力求通俗，内容适当更新。

本书编写人员：主编王积宏，编写绪言，第一章至第四章及实验部分；协编田甜，编写第六章和第七章；协编王登富，编写第五章和第八章。主审由顾克承副教授担任。本书初稿经北京审稿会议会审，参加审稿的人员有：徐文庄、涂天碧、翟学英、李建成、高淑民、任连元、周文衡、李厚仁、邓植生、徐贵臣等。与会同志对初稿提出了很多宝贵的意见，在此谨致谢意。

本书也适用于职工大学、业余大学。中等专业学校也可选用，并可供机电类工程技术人员和技工学校教师参考。

限于编者水平，加之编写时间仓促，书中错误、缺点在所难免，敬希读者批评指正。

编 者

一九八三年三月

本书常用名词及其符号表

名 词	符 号	名 词	符 号
压 力	P	弱酸电离常数	K_a
体 积	V	弱碱电离常数	K_b
绝对温度	T	水的离子积常数	K_w
摩尔气体常数	R	水 解 度	h
物质的量(摩尔数)	n	水解常数	K_h
摩尔质量	M	溶度积常数	K_{sp}
质 量	W	离 子 积	Q_i
气相摩尔分数	Y_i	溶 解 度	S
液相摩尔分数	X_i	电 动 势	E
纯液体蒸气压	p°	电极电位	ε
质量摩尔浓度	m	超 电 压	η
沸 点	T_b	普朗克常数	h
沸点上升常数	K_b	频 率	ν
凝 固 点	T_f	光 速	C
凝固点下降常数	K_f	波 长	λ
渗 透 压	π	波 函 数	ψ
反应速度	v	主量子数	n
反应速度常数	κ	角量子数	l
活 化 能	E	磁量子数	m
频率因子	Z	自旋量子数	m_s
反 应 热	Q	偶 极 矩	p_e
平衡常数	K, K_c, K_p	稀土元素	R_e
离解度(电离度)	α	光子或电子的动量	p

目 录

前言

本书常用名词及其符号表

绪言	1
第一章 气体定律和稀溶液的依数性	2
§ 1-1 气体状态方程式	2
§ 1-2 气体分压定律	5
§ 1-3 溶液的概念及其浓度	7
§ 1-4 稀溶液的依数性	10
习题	16
第二章 化学反应速度与化学平衡	18
§ 2-1 反应速度及其影响因素	18
§ 2-2 化学反应速度理论	23
§ 2-3 化学平衡和平衡常数	25
§ 2-4 化学平衡的移动	30
习题	34
第三章 电解质溶液	36
§ 3-1 弱电解质的电离平衡	36
§ 3-2 水的电离和溶液的 pH 值	40
§ 3-3 缓冲溶液	43
§ 3-4 盐类的水解	45
§ 3-5 沉淀溶解平衡	49
§ 3-6 络离子的离解平衡	55
习题	58
第四章 氧化还原与电化学	60
§ 4-1 氧化还原反应及其方程式的配平	60
§ 4-2 原电池和电极电位	65
§ 4-3 电解	76
§ 4-4 金属的腐蚀及其防护	82
§ 4-5 化学电源	88
习题	90
第五章 原子结构与周期系	93
§ 5-1 氢原子光谱与玻尔 (N. Bohr) 理论	93
§ 5-2 量子力学的初步概念	95
§ 5-3 多电子原子结构和周期系	100
§ 5-4 元素的性质与原子结构的关系	107
习题	114
第六章 化学键与分子结构	116
§ 6-1 离子键	116
§ 6-2 共价键	120
§ 6-3 金属键与金属晶体	125

§ 6-4 分子间作用力 (范德华力)	126
§ 6-5 离子极化理论	129
习题	131
第七章 常用无机材料	132
§ 7-1 常用合金	132
§ 7-2 耐磨、耐高温材料	136
§ 7-3 半导体材料	140
§ 7-4 硅酸盐材料	143
§ 7-5 无机粘结剂	146
§ 7-6 感光材料	149
§ 7-7 热处理常用盐	151
习题	153
第八章 常用有机材料	155
§ 8-1 脂肪酸、蜡和油脂	155
§ 8-2 工业用油	157
§ 8-3 高分子化合物的一般概念	163
§ 8-4 高分子化合物的结构与物理—机械性能	164
§ 8-5 塑料	168
§ 8-6 合成橡胶	171
§ 8-7 合成纤维	172
§ 8-8 合成胶粘剂	174
§ 8-9 有机硅高分子化合物	175
习题	176
实验部分	177
一、实验编写说明	177
二、实验规则	177
三、实验室安全守则	177
四、实验室意外事故的处理	178
五、实验及计算中的有效数字	178
六、实验	179
实验一 溶液的性质和配制	179
※实验二 化学反应速度与化学平衡	184
※实验三 电解质溶液	187
实验四 氧化还原与电化学	189
实验五 醋酸电离度和电离常数的测定	192
※实验六 元素周期律、物质的结构组成与性质之间的关系	195
实验七 水玻璃模数的测定	196
※实验八 盐浴中氧化钡的测定	199
实验九 粘接技术	200
附录	203
附录一 国际原子量表 (1979)	203
附录二 元素周期表	205

绪 言

化学是自然科学的基础学科之一，它是研究物质的组成、结构、性质及其变化规律和变化过程中能量关系的科学。

化学在科学技术和生产中，起着重要的作用。我们运用物质结构和性质方面的知识，有利于选择和使用原材料。运用化学变化规律方面的知识，可以制备各部门所需要的各式各样的产品。至于能源的开发、粮食的增产、环境的保护、化害为利、变废为宝等等，都涉及化学知识。

随着科学技术和生产的发展，各门学科之间的相互渗透也日益加强。人们面临的课题，往往需要综合运用各门学科的知识才能解决。对于机电类专业的工程技术人员需要了解和掌握的化学知识也越来越深广。为此，化学对于机电类专业仍然是一门必不可少的基础课。

本课程的基本要求是：

1. 使学生掌握气体定律、溶液、化学反应速度、化学平衡、电解质溶液、氧化还原与电化学、物质结构等的基本概念、基本理论和基本计算。
2. 使学生掌握一些与本专业有关的、主要的常用无机材料和有机材料的性能和用途。
3. 使学生掌握化学实验的基本技能，能做到正确地观察、记录和分析。

要学好化学，必须对化学课程有正确的认识，端正学习态度。对于基本概念和基本理论要准确地掌握，注意概念间的相互联系和区别，以免混淆。对于基本运算要注意公式适用条件，熟悉运算方法，能进行综合计算。为此，必须深入地钻研教材，在理解的基础上去掌握“三基”（基本理论、基本知识、基本技能）内容，去掌握教材的全部内容，不要采用死记硬背的方法。要善于应用对比方法去区分容易混淆的概念，要善于应用实践——理论——实践的方式去掌握基本理论的来龙去脉，去掌握基本理论的要点和应用，要多做一点课外作业，以有利于基本计算的掌握。总之，通过化学的学习，不仅要掌握化学知识，更重要的是要提高自学化学的能力，如阅读能力、解题能力等。当然，掌握知识和提高自学能力是相互促进的。掌握知识是提高自学能力的基础，提高自学能力又是掌握知识的重要条件。重视和做好化学实验也是学好化学的重要条件。化学实验不仅有利于化学知识的掌握，而且可以培养观察能力、动手能力和分析问题、解决问题的能力。

第一章 气体定律和稀溶液的依数性

我们经常接触到的物质是由大量微观粒子（如分子、原子、离子等）聚集起来的。一般来说，物质有三种聚集状态，即气态、液态和固态。在特定的环境条件下，物质也可以有其它聚集状态形式存在，如等离子体等。

气态的基本特征是分子间距离很大，而相互作用力很小，分子可以自由运动。因此，气体有较大的扩散性和压缩性，即是说气体可以充满整个容器，没有固定的形状，容易被压缩。

固态的基本特征是组成固体的微粒（分子、原子或离子）之间距离很小，相互作用力很大，使得这些微粒在通常情况下，只能在一定位置上作振动。因此，固体有固定的形状和体积，很难被压缩，即是说固体的压缩性和扩散性都很小。

液态是介于气态和固态之间的状态。与气体相比，液体中分子间作用力要大得多，分子间距离要小得多；与固体相比，则相反。因此，液体具有固定的体积，没有固定的形状，压缩性较小。

物质以哪种聚集状态存在，是由温度和压力等外界条件所决定的。当外界条件改变时，物质能从一种状态转变到另一种状态。

在物质的三种聚集状态中，以气体的性质最为简单，研究的成果也较为系统，而气体性质与后续课程联系也较为密切，故本章中仅讨论气体的一般物理性质。

§ 1-1 气体状态方程式

气体的性质依赖于温度、压力、体积和它的组成。因此，研究气体的体积、温度、压力和物质的量（简称摩尔数）之间的关系是很重要的。气体状态方程式就是用来描述气体上述四个参数之间相互关系的方程式，通常表示如下：

$$PV = nRT \quad (1-1)$$

上式，是一个含有四个变量（ P 、 V 、 T 与 n ）的关系式，而常见的方程式中，含有四个变量的关系式是很少的，因此该方程式显得更加重要。

一、方程式中各项物理量的含义

1. P 表示压力（压强） 它表示气体垂直作用于容器表面时，容积单位表面上所承受的力。它的常用单位是大气压（atm）和毫米汞柱（mmHg）。在国际单位制（SI）中，压力的单位是帕斯卡（中文符号帕，国际符号Pa）， $1\text{atm} = 1.0133 \times 10^5 \text{Pa}$ 。

2. V 表示体积 它表示气体充满容器的全部空间或容纳气体容器的容积。它的常用单位是升（l）或立方分米（ dm^3 ）、毫升（ml）或立方厘米（ cm^3 ）。在国际单位制中，体积的单位是立方米（国际符号 m^3 、 $1\text{m}^3 = 10^3\text{dm}^3(10^3\text{l}) = 10^6\text{cm}^3(10^6\text{ml})$ ）。

3. T 表示绝对温度 它是表示物质冷热程度的一种量度。在国际单位制中，它的单位是开尔文（中文符号开，国际符号K）， $T = 273.15 + t$ （ t 表示摄氏温度）。

4. n 表示物质的量(摩尔数) 在 SI 制中,它的单位名称叫摩尔(中文符号摩,国际符号 mol)。物质的量是国际制中七个基本物理量之一,它是以前阿佛加德罗数为计数单位,表示物质的基本单元数目是多少的物理量。这个物理量的名称并不理想,使人难于接受,故常用摩尔数来代替它。因为物质的量是指在一定量物质中含有多少个摩尔,因而把物质的量看成是摩尔数还是可以的。但是,摩尔数这个概念,并不是科学的概念,因为用单位数目来代替该体系的物理量——物质的量,从科学概念上来讲是不严密的。如长度是物理量,单位是米,决不能用“米数”来代替“长度”。只宜说“这间房子的长度是 50 米”而不宜说“这间房子的米数是 50 米”。

摩尔数(n)、摩尔质量(符号用 M , 单位是 $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$) 和物质的质量(W)三者之间的关系如下:

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

将上式代入式 (1-1), 则得

$$PV = \frac{W}{M} RT \quad (1-2)$$

5. R 是比例常数 一般称做摩尔气体常数,其值不仅与气体的 P 、 T 、 V 无关,也与气体的种类、数量无关,故 R 又叫**气体通用常数**。如果体积以升(l)、压力以大气压(atm)来表示,并已知一摩尔(mol)气体在 273.15 K 和一个大气压下所占的体积为 22.4141,代入式 (1-1) 中,则

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

$$R = \frac{1(\text{atm}) \times 22.414(1)}{1(\text{mol}) \times 273.15(\text{K})} = 0.08206 (\text{l} \cdot \text{atm} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1})$$

如果体积以 m^3 为单位,压力以帕(Pa)为单位计算可得:

$$R = \frac{1.0133 \times 10^5 (\text{Pa}) \times 22.414 \times 10^{-3} (\text{m}^3)}{1(\text{mol}) \times 273.15(\text{K})}$$

$$= 8.314 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

因

$$1 \text{ J (焦耳)} = 1 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3$$

故

$$R = 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

二、气态方程的导出

气体状态方程式,实质上是由三个实验定律归纳得出的,其导出过程如下:

波义耳(Boyle)定律规定,在一定温度和一定量气体下,气体的体积与压力成反比。

$$V \propto \frac{1}{P} \quad (T, n \text{ 一定})$$

查理(Charles)定律规定,一定量气体,在恒压下所占有的体积与绝对温度成正比。

$$V \propto T \quad (P, n \text{ 一定})$$

阿佛加德罗(Avogadro)定律规定,在恒温和恒压下,气体的体积与其摩尔数成正比。

$$V \propto n \quad (P, T \text{ 一定})$$

将上述三个比例式结合起来,则得

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

向上式引入一个比例常数 R ，可以把它化成等式如下：

$$V = \frac{nRT}{P}$$

或

$$PV = nRT$$

当然，也可以从气体状态方程式出发，根据不同条件分别得到波义耳定律、查理定律和阿佛加德罗定律。

这个方程式只有在分子本身的体积和分子间吸引力可以忽略的情况下，才是准确的。这样的气体叫做理想气体。严格说来，式 (1-1) 只适用于理想气体，故应叫理想气体状态方程式。但是，在一般情况下（温度不太高，压力不太大），用式 (1-1) 计算所得的结果也接近实际情况。

三、气态方程式的应用

气态方程式可以用来解决涉及气体性质的种种问题，举例说明如下：

〔例1〕 现有 130 克乙炔，其温度为 300 K，压力为 1 atm，试求该气体所占体积。

解：由式 (1-1) 可得

$$V = \frac{WRT}{MP}$$

将有关数据代入上式，则得

$$V = \frac{130 \times 0.082 \times 300}{26 \times 1} = 123 \text{ (l)}$$

答：乙炔气体所占体积是 123 l。

〔例2〕 在上题中，如果温度降至 0°C，问容器中乙炔压力应为何值（用 SI 制单位表示）？

解：在 SI 制单位中，质量用 kg，体积用 m³，压力用 Pa 为单位。将有关数据换算 SI 制单位后，代入式 (1-1) 中，则得

$$P = \frac{WRT}{VM} = \frac{0.130 \times 8.314 \times 273}{0.123 \times 0.0260} = 9.23 \times 10^4 \text{ (Pa)}$$

答：乙炔气体此时的压力为 9.23×10^4 Pa。

〔例3〕 0.896 克气态化合物（由氮、氧两元素组成）在 730 mmHg 和 28.0°C 情况下占有体积为 524 ml，求该气体的分子量。

解：由式 (1-2) 可得

$$M = \frac{WRT}{PV}$$

将有关数据换成与 R 的单位相同，代入上式，则得

$$M = \frac{0.896 \times 0.082 \times 301}{\frac{730}{760} \times \frac{524}{1000}} = 43.9 \text{ (g} \cdot \text{mol}^{-1}\text{)}$$

答：此气体的分子量为 43.9。

§ 1-2 气体分压定律

日常生活和工业生产中，经常遇见能以任意比例混合的气体混合物。其总压力如何计算？1902年由英国化学家道尔顿（J. Dalton）通过实验得出如下结论：

“混合气体的总压力等于各组分气体分压之和”。

$$\begin{array}{ccccccc}
 \boxed{n_1} & + & \boxed{n_2} & + \cdots \cdots & \boxed{n_i} & = & \boxed{n_1 + n_2 + \cdots} \\
 p_1 & & p_2 & & p_i & & P_{\text{总}} \\
 & & & & (T \quad V \text{ 相同}) & &
 \end{array}$$

$$P_{\text{总}} = p_1 + p_2 + \cdots p_i \quad (1-3)$$

上述结论叫做道尔顿分压定律。

这个定律最要紧的一点是分压的概念。所谓分压，就是指在恒温下各组分气体所占据与混合气体相同体积时对容器所产生的压力，叫做该组分的分压。

该定律仅适用于不起化学反应的理想气体混合物。

在理想气体混合物中，任一组分也遵守理想气体状态方程式。其表现形式如下：

$$p_i V_{\text{总}} = n_i RT \quad (1-4)$$

将式（1-3）和式（1-4）合并，可以得到道尔顿分压定律另一种形式，即 $p_i = P_{\text{总}} Y_i$ 。其导出过程如下：

设 $n_1, n_2, \cdots, n_i$ 分别代表组分气体 1、2、 $\cdots$ 、 i 在混合气体中的摩尔数； $p_1, p_2, \cdots, p_i$ 分别代表组分气体 1、2、 $\cdots$ 、 i 的分压力； V 为混合气体的体积。根据式（1-4）则得：

$$\left. \begin{array}{l} p_1 V = n_1 RT \\ p_2 V = n_2 RT \\ \cdots \cdots \cdots \\ p_i V = n_i RT \end{array} \right\}$$

根据式（1-3）则得：

$$\begin{aligned}
 P_{\text{总}} = p_1 + p_2 + \cdots p_i &= \frac{n_1 RT}{V} + \frac{n_2 RT}{V} + \cdots \frac{n_i RT}{V} \\
 &= (n_1 + n_2 + \cdots n_i) \frac{RT}{V}
 \end{aligned}$$

因为

$$n_{\text{总}} = n_1 + n_2 + \cdots n_i$$

故

$$P_{\text{总}} = n_{\text{总}} \frac{RT}{V}$$

$$\frac{p_i}{P_{\text{总}}} = \frac{n_i \frac{RT}{V}}{n_{\text{总}} \frac{RT}{V}} = \frac{n_i}{n_{\text{总}}}$$

令 Y_i 代表 i 组分的摩尔数除以混合气体中总摩尔数所得的商，即 $\frac{n_i}{n_{\text{总}}} = Y_i$ ， Y_i 叫做

i 组分的摩尔分数。

所以

$$p_i = P_{\text{总}} Y_i \quad (1-5)$$

上式表明：理想气体混合物中，某成分的分压力等于总压力乘上该组分的摩尔分数。

〔例4〕在 25 °C 时，将压力为 250 mmHg 的氮气 200ml 和压力为 350 mmHg 的氧气 300 ml，移入容积为 300 ml 的真空容器，向混合气体中各组分分压力和总压力各为多少？

解：根据分压力的定义，则得

$$p_{N_2} = 250 \times \frac{200}{300} = 167 \text{ (mmHg)}$$

$$p_{O_2} = 300 \times \frac{350}{300} = 350 \text{ (mmHg)}$$

所以

$$P_{\text{总}} = p_{N_2} + p_{O_2} = 167 + 350 = 517 \text{ (mmHg)}$$

答：氮气、氧气的分压力分别为 167 mmHg 和 350 mmHg，总压力为 517 mmHg。

〔例5〕在 18 °C 和 750 mmHg 状况下，取 200 ml 水煤气进行分析，测出煤气中含一氧化碳 59.4%，氢气含 10.2%，其它气体含 30.4%。求煤气中一氧化碳和氢气的分压与样品中一氧化碳和氢气的摩尔数。

解：此题中没有明确地指出煤气中一氧化碳和氢气的摩尔分数，只知道它们的体积分数 $\left(\frac{V_i}{V_{\text{总}}}\right)$ 。但是，根据理想气体状态方程式可显然看出，在同温同压下，摩尔数与体积成正比。所以，各组分的摩尔分数等于它的体积分数。

即

$$\frac{n_i}{n_{\text{总}}} = \frac{V_i}{V_{\text{总}}} \quad (1-6)$$

故

$$p_{CO} = \frac{750}{760} \times 59.4\% = 0.586 \text{ (atm)}$$

$$p_{H_2} = \frac{750}{760} \times 10.2\% = 0.101 \text{ (atm)}$$

已知 $V = 0.200 \text{ (l)}$ ， $T = 273 + 18 = 291 \text{ K}$

根据理想气体状态方程式，则得

$$n_{CO} = \frac{p_{CO} V}{RT} = \frac{0.586 \times 0.200}{0.082 \times 291} = 0.0049 \text{ (mol)}$$

$$n_{H_2} = \frac{p_{H_2} V}{RT} = \frac{0.101 \times 0.200}{0.082 \times 291} = 0.00084 \text{ (mol)}$$

答：煤气中一氧化碳和氢气的分压力分别为 0.586 atm 和 0.101 atm；样品中一氧化碳和氢气的摩尔数分别为 0.0049 mol 和 0.00084 mol。

〔例6〕在 25 °C 和 $100 \times 10^3 \text{ Pa}$ 压力时，在水面上收集 0.355 dm³ 的氢气。问试样中氢气的分压力是多少？收集到氢气的摩尔数是多少？（已知在 25 °C 时水的蒸气压为 $3.2 \times 10^3 \text{ Pa}$ 。）

解：因为收集到的气体是氢气和水蒸气的混合物，试样中水蒸气的分压应该等于它的蒸气压 $3.2 \times 10^3 \text{ Pa}$ 。根据分压定律

$$P_{\text{总}} = p_{H_2} + p_{H_2O}$$

因而

$$p_{H_2} = P_{\text{总}} - p_{H_2O}$$

$$\begin{aligned}
 &= 100 \times 10^3 - 3.2 \times 10^4 \\
 &= 96.8 \times 10^3 \text{ (Pa)}
 \end{aligned}$$

根据理想气体状态方程式，则得

$$n_{\text{H}_2} = \frac{p_{\text{H}_2} V}{RT} = \frac{96.8 \times 10^3 \times 0.355}{8.314 \times 298} = 0.0139 \text{ (mol)}$$

答：氢气的分压力为 $96.8 \times 10^3 \text{ Pa}$ ，氢气的摩尔数为 0.0139 mol 。

§ 1-3 溶液的概念及其浓度

自然界中一切生命现象都与溶液有密切联系。日常生活中接触到的盐水、碘酒和各种针剂都是溶液；化学生产中的很多化学反应，多半是在溶液中进行的；金属的防护，也多半是在溶液中进行的。因此，应该很好地学习有关溶液的知识。

一、溶液的概念

溶液是一种物质（溶质）以分子或者比分子更小的质点，均匀地分布在另一种物质（溶剂）中，所组成的稳定体系。溶液又称**分子溶液**或**真溶液**。

溶液按其聚集状态分为以下三种：

1. 气态溶液 即气体混合物。如空气、炉气等。
 2. 液态溶液 气体、液体或固体溶解于液体中所组成的溶液。如海水、食盐水溶液、钢液和熔渣等。
 3. 固态溶液 又称固溶体。多数固态合金为固态溶液。如 Cu—Zn 、 Ag—Au 合金等。
- 一般说的溶液，实指液态溶液。构成溶液的组分是溶质和溶剂。习惯上把含量多的组分称为溶剂，含量少的组分称为溶质。对于固体或气体溶于液体中所形成的溶液，一般皆将液体称为溶剂，而把气体或固体称为溶质。

溶液的形成过程，既有物理变化又有化学变化。组成溶液的物质，其分子（包括原子或离子）的分散和混合是物理变化。溶质在溶剂内发生电离、溶剂化作用、产生缔合及离解等，则为化学变化。

溶液类似混合物（组成不定），但又不是混合物。因为溶液的性质是均匀的，形成溶液过程中有吸热和放热现象发生，有溶剂化合物形成等。反之，溶液类似化合物，但又不是化合物，因为溶液的组成不符合定组成定律，即使生成了溶剂化合物，其组成也不固定。因此，溶液既不是化合物，又不是混合物。

二、溶液的浓度

溶液的性质及其变化规律都与其浓度有密切关系。**所谓溶液的浓度，就是指在一定量溶液或溶剂中所含溶质的量。**读者必须注意溶液的浓度与溶质的质量或摩尔数是不相同的，前者是相对量；后者是绝对量。溶液的浓度与溶解度也不完全相同，前者形成的溶液可能是饱和溶液，也可能是不饱和溶液；而后者形成的溶液一定是饱和溶液。

溶液浓度表示方法很多，除在中学已经学过的，如质量百分比浓度、体积百分比浓度、ppm 浓度、体积摩尔浓度和当量浓度以外，这里再介绍二种新的浓度表示方法。

（一）质量摩尔浓度

在一千克溶剂中所含溶质的摩尔数（物质的量），叫做**质量摩尔浓度**。一般用小写字母

m 表示。也可以用如下公式来表示 m 的定义:

$$m = \frac{\text{溶质的摩尔数}}{\text{溶剂的质量}} = \frac{n_{\text{质}}}{W_{\text{剂}}(\text{克})} \times 1000 \quad (1-7)$$

〔例7〕把 30.0 克乙醇溶于 50.0 克四氯化碳中, 求乙醇的质量摩尔浓度。

解: 已知乙醇的摩尔质量 $M_{\text{乙醇}} = 46.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

根据式(1-7), 则得

$$m = \frac{\frac{30.0}{46.0}}{50.0} \times 1000 = 13.0 \text{ (mol} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)}$$

答: 乙醇的质量摩尔浓度为 $13.0 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 或 13.0 m (习惯表示法)。

(二) 摩尔分数浓度或摩尔百分数浓度

溶液中某组分 (i) 的摩尔数 (物质的量) 与溶液中总摩尔数 (物质的量的总和) 之比, 叫做 **i 组分的摩尔分数浓度**。

对于液 (固) 态溶液的摩尔分数, 用符号 X_i 表示; 对于气态溶液的摩尔分数, 用符号 Y_i 表示。相应的数学表达式为:

$$X_i = \frac{n_i}{n_1 + n_2 + n_3 + \cdots n_k} \quad (1-8)$$

$$Y_i = \frac{n_i}{n_1 + n_2 + n_3 + \cdots n_k} \quad (1-9)$$

式中 n_i 表示固 (液) 态溶液或气态溶液中某组分的摩尔数 (物质的量); $n_1, n_2, n_3, \cdots n_k$ 表示相应溶液中各组分的摩尔数 (物质的量)。

根据摩尔分数的定义, 显然看出

$$\sum X_i = 1 \quad \text{或者} \quad \sum Y_i = 1$$

〔例8〕Cd—Zn 合金中, 镉的质量百分比浓度为 25%, 锌的质量百分比浓度为 75%, 求镉和锌的摩尔分数浓度。

解:

已知 $M_{\text{Cd}} = 112.4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$,

$M_{\text{Zn}} = 65.38 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

根据式(1-8), 则得:

$$X_{\text{Cd}} = \frac{n_{\text{Cd}}}{n_{\text{Cd}} + n_{\text{Zn}}} = \frac{25/112.4}{25/112.4 + 75/65.38} = 0.1615$$

$$X_{\text{Zn}} = 1 - X_{\text{Cd}} = 1 - 0.1615 = 0.8385$$

答: 在 Cd—Zn 合金中, 镉与锌的摩尔分数浓度分别为 0.1615 和 0.8385。

如果将摩尔分数乘以 100%, 称为摩尔百分数浓度, 即

$$X_i \times 100\% = \frac{n_i}{n_1 + n_2 + n_3 + \cdots n_k} \times 100\%$$

$$Y_i \times 100\% = \frac{n_i}{n_1 + n_2 + n_3 + \cdots n_k} \times 100\%$$

(三) 浓度的相互换算

质量百分比浓度、体积摩尔浓度、当量浓度、质量摩尔浓度和摩尔分数浓度, 彼此都可以相互换算。在换算过程中, 只要掌握着各种不同浓度的定义和溶液相对密度 (比重) 的含

义, 就可以将质量浓度 (质量百分比浓度、质量摩尔浓度、摩尔分数浓度) 与体积浓度 (体积摩尔浓度、当量浓度) 两大类浓度进行换算, 也可以导出换算的不同计算公式。前三种浓度在中学已经学过, 不必在此重述。这里只列出质量摩尔浓度和摩尔分数浓度相互换算公式如下:

$$X_{\text{质}} = \frac{m}{m + \frac{1000}{M_{\text{剂}}}} = \frac{m M_{\text{剂}}}{m M_{\text{剂}} + 1000} \quad (1-10)$$

式中 $X_{\text{质}}$ 为溶质的摩尔分数; m 为溶质的质量摩尔浓度; $M_{\text{剂}}$ 为溶剂摩尔质量。

〔例9〕 120 ml 水溶液中含蔗糖 ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) 15.0 克, 溶液的密度为 $1.047 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$, 计算蔗糖的质量摩尔浓度和蔗糖的摩尔分数。

解: 已知蔗糖的摩尔质量 $M_{\text{蔗糖}} = 342 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

根据式(1-7), 则得

$$m = \frac{15.0/342}{120 \times 1.047 - 15.0} \times 1000 = 0.3966 \approx 0.4 \text{ (mol} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)}$$

根据式(1-10), 则得

$$X_{\text{蔗糖}} = \frac{m M_{\text{剂}}}{m M_{\text{剂}} + 1000} = \frac{0.40 \times 18.0}{0.40 \times 18.0 + 1000} \approx 0.12$$

答: 蔗糖的质量摩尔浓度为 $0.4 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$; 摩尔分数浓度为 0.12。

〔例10〕 0.500 mol 乙醇溶于 500 克水中所组成的溶液, 其密度为 $0.992 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$, 试用体积摩尔浓度 (c), 质量摩尔浓度 (m)、摩尔分数浓度 (X_i) 和质量百分比浓度分别来表示该溶液的组成。

解: 已知乙醇的摩尔质量 $M_{\text{乙醇}} = 46.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

1. 体积摩尔浓度 (c)

$$c = \frac{0.500}{\frac{500 + 46.0 \times 0.500}{0.992} \times \frac{1}{1000}} = 0.948 \text{ (mol} \cdot \text{l}^{-1}\text{)}$$

2. 质量摩尔浓度 (m)

$$m = \frac{0.500}{500} \times 1000 = 1 \text{ (mol} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)}$$

3. 摩尔分数浓度

$$X_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} = \frac{0.500}{0.500 + \frac{500}{18.0}} = 0.0180$$

$$X_{\text{H}_2\text{O}} = 1 - 0.0180 = 0.982$$

4. 质量百分比浓度

$$\text{乙醇的质量百分比} = \frac{46.0 \times 0.500}{46.0 \times 0.500 + 500} \times 100\% = 4.4\%$$

$$\text{水的质量百分比} = \frac{500}{46.0 \times 0.500 + 500} \times 100\% = 95.6\%$$

答：乙醇的体积摩尔浓度为 $0.948 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ ；质量摩尔浓度为 $1 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ ；摩尔分数浓度为 0.0180 ；质量百分比浓度为 4.4% 。

§ 1-4 稀溶液的依数性

物质的溶解是一种物理-化学过程，溶解的结果不仅溶质的性质起了变化，而且溶剂本身的性质也起了变化。因此，溶液的性质既不同于溶质，也不同于溶剂。溶液的性质一般可分为两类：一类性质主要是由溶质的本身性质来决定的，如溶液的颜色（无色硫酸铜溶解于水，形成蓝色的硫酸铜溶液）、溶液体积的改变（酒精溶于水后，总体积小于纯水和纯酒精的体积）等；另一类性质，它的变化只与溶液的浓度有关，而与溶质本身性质无关，即是说这类溶液的性质仅与溶质的粒子数有关，而与粒子的性质无关，这类性质叫做**稀溶液的依数性**，或者叫做**稀溶液的通性**。下面将分别讨论稀溶液的各种依数性。

一、溶液的蒸气压下降

（一）纯溶剂的蒸气压

表1-1 在不同温度时水的蒸气压

温 度 (°C)	蒸 气 压 (mmHg)	温 度 (°C)	蒸 气 压 (mmHg)
0	4.6	40	55.3
5	6.5	50	92.5
10	9.2	60	149.4
15	12.8	70	233.7
20	17.5	80	355.1
22	19.8	90	525.8
26	25.2	100	760.8
28	28.3	110	1074.6
30	31.8	120	1489.1

每一种液体，在一定温度下，都有它特定的蒸气压。当从液面蒸发而出的分子数和由气相回到液面的分子数相等时，该液体就和它的蒸气处于平衡状态，这时蒸气所具有的压力，叫做饱和蒸气压，简称**蒸气压**。在一定温度下，各种液体的蒸气压是不相同的。例如，在 20°C 时水的蒸气压为 17.5 mmHg ；酒精的蒸气压为 43.6 mmHg ；乙醚的蒸气压为 422 mmHg 等。同一种纯溶剂，在不同温度下，蒸气压也不相同。如表 1-1 所示，温度升高，水的蒸气压相应增加。

由表 1-1 可知，在一定温度下，水的蒸气压是一定值，如果在水中加入一种难挥发的溶质，溶液的蒸气压将会发生什么样的变化呢？

（二）溶液的蒸气压

将纯水和糖水分别装在如图 1-1 a)

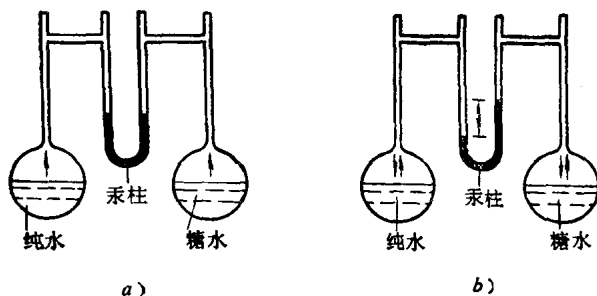


图1-1 糖水、纯水蒸气压比较

所示的两个圆球瓶中并加以密封。刚开始，汞柱在两支管中的液面是平齐的。当每个圆球