

农科基础化学

主编 叶非

副主编 刘艳新

中央广播电视大学出版社

农科基础化学

主 编 叶 非

副主编 刘艳新

中央广播电视大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

农科基础化学/叶非主编:-北京:中央广播电视大学出版社,1999.6

ISBN 7-304-01627-2

I. 农… II. 叶… III. 农业化学-电视大学-教材 IV. S13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 24555 号

版权所有,翻印必究。

农科基础化学

主 编 叶 非

副主编 刘艳新

出版·发行/中央广播电视大学出版社

经销/新华书店北京发行所

印刷/北京云浩印刷厂

开本/787×1092 1/16 印张/27.25 字数/622 千字

版本/1999 年 4 月第 1 版 2002 年 3 月第 6 次印刷

印数/25101~30100

社址/北京市复兴门内大街 160 号

邮编/100031

电话/66419791 68519502

(本书如有缺页或倒装,本社负责退换)

书号:ISBN 7-304-01627-2/S·16

定价:29.50 元

前 言

21 世纪将是世界科技迅猛发展和激烈竞争的时代。在科学高速发展和新技术革命中,化学仍将是一门十分重要的学科,渗入生物、材料、环保、能源、信息等领域,孕育着新的生机。面向 21 世纪的农科电大教育,编写一本适合于电大人才培养、符合科学发展的高质量教材具有重要意义。本教材是在面向 21 世纪的电大教学改革与研究基础上编写而成的,它将原农科体系的普通化学、分析化学和有机化学三门课程有机地结合在一起,突出了农科化学的基础知识和基本训练。本教材既适合电大教学的需要,也适合职大、夜大、业大、函大等培养大专层次应用型人才的需要。

为了使本教材具有远距离教学的适用性,并考虑到教学中因缺乏教学信息的双向反馈而产生的困难,本教材力求做到把基本内容的传授、重点难点内容的录像辅导以及实践性教学的可视性环节紧密结合起来。全书共包括农科化学基础知识和理论、专题、实验三大部分。前十章为无机及分析化学的基础知识和理论,第十一章、第十二章为有机化学基础知识和理论,每章都提出学习要求并进行小结。正文中排小字的部分为选修内容。专题部分介绍了化学在农业及生活中的作用和应用,实验内容包括了化学的基本操作。本教材采用国务院颁布的法定计量单位,采用 1990 年中国化学会制定的有机化学命名原则(80 原则),采用了全国自然科学名词审定委员会公布的《化学名词》(1990 年,科学出版社)。参加本教材编写工作的有:东北农业大学叶非(第十一、十六、十七、十八章,专题四、五、六);东北农业大学刘艳新(第三、六、七、八、九、十章);中央广播电视大学张爱华(第十二、十三章);云南广播电视大学周晓俊(第一、二、四、五章);武汉广播电视大学乔斌(第十四、十五章);东北农业大学李冬梅(实验内容);叶非、张爱华合写专题一、二、三、七。全书由叶非(主编)、刘艳新(副主编)修改定稿,并经东北农业大学张桓武教授、张永忠教授审阅。

限于编者的水平,某些章节的编写又系探索性试编,错误和不妥之处在所难免,敬希广大读者和同行专家在教学实践中提出宝贵意见,以利于形成具有我国特色的电大系列教材。

中央广播电视大学
农科基础化学课程组
1998 年 12 月

目 录

基础知识和理论部分

第一章 溶液	(1)
第一节 溶液及其浓度	(2)
第二节 稀溶液的依数性	(8)
第三节 胶体溶液(选修)	(13)
第二章 化学平衡原理	(19)
第一节 化学平衡	(20)
第二节 化学平衡移动原理	(26)
第三章 分析化学基础	(33)
第一节 分析化学概述	(33)
第二节 定量分析的误差	(37)
第三节 滴定分析概述	(45)
第四章 酸碱反应与酸碱滴定法	(58)
第一节 酸碱质子理论	(59)
第二节 水溶液酸碱度的计算	(61)
第三节 酸碱平衡的移动	(68)
第四节 酸碱滴定法	(76)
第五章 沉淀反应与沉淀滴定法	(91)
第一节 沉淀-溶解平衡与溶度积	(92)
第二节 影响沉淀-溶解平衡的因素	(95)
第三节 分步沉淀和沉淀的转化	(97)
第四节 沉淀滴定法	(99)
第五节 标准溶液的配制	(103)
第六节 银量法应用示例	(103)
第六章 配位反应与配位滴定法	(107)
第一节 配合物的基本概念	(108)
第二节 配位平衡	(110)
第三节 配位滴定法	(112)

第七章 氧化还原反应与氧化还原滴定法	(127)
第一节 氧化还原反应	(127)
第二节 原电池和电极电位	(131)
第三节 电极电位的应用	(137)
第四节 氧化还原滴定法	(140)
第八章 吸光光度法	(151)
第一节 吸光光度法的原理	(152)
第二节 吸光光度法和测量条件的选择	(155)
第三节 显色反应	(159)
第四节 吸光光度法的应用	(160)
第九章 pH 电位测定法	(163)
第一节 电位分析法的基本原理	(163)
第二节 直接电位法测定溶液 pH 值	(167)
第十章 农业生产中重要离子的鉴定方法(自学)	(172)
第一节 阳离子的定性分析	(172)
第二节 阴离子的定性分析	(181)
第十一章 有机化合物的基础知识	(189)
第一节 有机化合物及其特点	(189)
第二节 碳原子的结构特点及成键性	(191)
第三节 有机化合物的物理性质与结构的关系	(198)
第四节 研究有机化合物的方法(选修)	(201)
第五节 如何学习有机化学	(202)
第十二章 有机化合物的分类和命名	(205)
第一节 碳链化合物的分类及命名	(205)
第二节 碳环化合物	(211)
第三节 官能团的分类和命名	(215)
第十三章 有机化合物分子的空间形象(立体化学)	(223)
第一节 碳碳单键的旋转性	(223)
第二节 取代基在平面分子中的取向	(224)
第三节 分子的不对称性	(227)
第十四章 烃和芳香烃的重要反应	(233)
第一节 饱和烃(烷烃)的化学性质	(233)
第二节 不饱和烃的化学性质(烯烃和炔烃)	(234)
第三节 芳香烃的化学性质	(239)
第十五章 卤代烃、醇、酚、醚的重要反应	(245)
第一节 卤代烃的化学性质	(245)
第二节 醇的化学性质	(248)
第三节 酚的化学性质	(251)

第四节 醚的化学性质	(252)
第十六章 醛、酮的重要反应	(256)
第一节 羰基上的加成反应	(256)
第二节 醛、酮的 α -H 反应	(259)
第三节 醛的氧化反应	(261)
第四节 醛、酮的还原反应	(262)
第五节 醛的歧化反应	(262)
第十七章 羧酸与胺的重要反应	(266)
第一节 羧酸及其重要衍生物的化学性质	(266)
第二节 取代酸的化学性质	(268)
第三节 胺的化学性质	(269)
第十八章 糖与氨基酸的结构及重要反应	(273)
第一节 糖的结构与化学性质	(273)
第二节 氨基酸的结构与化学性质	(280)

专题部分

专题一 蛋白质、酶、核酸	(287)
专题二 油脂、肥皂、表面活性剂	(293)
专题三 生物碱	(298)
专题四 煤炭、石油和天然气	(301)
专题五 合成高分子材料	(308)
专题六 食品与化学	(314)
专题七 农药化学	(320)

实验部分

一、实验室规则	(326)
二、实验室安全规则和意外事故的处理	(326)
三、常用实验仪器介绍	(328)
四、实验基本操作	(334)
(一)玻璃器具的洗涤和干燥	(334)
(二)简单玻璃工操作	(335)
(三)塞子的配置与打孔	(337)
(四)加热	(338)
(五)试剂及试剂的取用方法	(340)
(六)沉淀的分离和洗涤	(342)

(七)重结晶	(345)
(八)熔点的测定及温度计的校正	(348)
(九)分析天平简介	(352)
(十)滴定分析常用仪器的使用	(355)
(十一)分光光度计(721 型)	(363)
(十二)蒸馏	(365)
(十三)台秤的使用	(368)
五、实验	(369)
实验一 分析天平的使用	(369)
实验二 酸碱标准溶液的配制和比较滴定	(371)
实验三 碱灰中总碱量的测定	(373)
实验四 食醋中总酸量的测定	(376)
实验五 水的总硬度的测定(EDTA 滴定法)	(378)
实验六 双氧水中 H_2O_2 含量的测定(KMnO_4 法)	(380)
实验七 铁的测定(吸光光度法)	(381)
实验八 苯甲酸的制备	(383)
实验九 苯甲酸的重结晶及熔点测定	(384)
实验十 乙醇沸点的测定	(385)
实验十一 乙酸乙酯的制备	(386)
实验十二 茶叶中咖啡因的提取	(388)
实验十三 有机化合物模型构建	(390)

附 录

附录一 各章习题参考答案	(393)
附录二 弱酸、弱碱在水中的离解常数(25 $^{\circ}\text{C}$)	(402)
附录三 EDTA 螯合物的 $\log K_{\text{MY}}$ (25 $^{\circ}\text{C}$ $I=0.1$)	(405)
附录四 标准电极电位	(406)
附录五 难溶化合物的溶度积(18~25 $^{\circ}\text{C}$)	(416)
附录六 常用的酸溶液的相对密度和浓度	(418)
附录七 一些化合物的相对分子质量	(418)
附录八 国际原子量表	(422)
附录九 七个基本物理量及其基本单位	(423)
附录十 常用有机溶剂的物理常数	(423)
附录十一 主要参考书目	(424)

基础知识和理论部分

第一章 溶 液

本章主要为以后各章作一些概念和知识上的准备。溶液浓度计算是讨论化学反应和化学平衡时必须涉及的基本知识单元，因此要明确它们的有关概念、定义和计算公式，并能灵活应用。对于稀溶液的依数性，虽然给出了定量计算的公式，但主要应注意它的适用范围，掌握依数性规律的定性判断比较。由于稀溶液依数性在生活、生产、科研中经常碰到，故对其实际应用应有科普性了解。

☐ 本章主要内容

1. 分散系的概念；
2. 溶液的一般概念，溶液浓度的表示方法，溶液浓度之间的相互换算；
3. 稀溶液通性。

☐ 本章学习目标

通过本章学习要求了解分散系概念；重点掌握溶液浓度的表示方法（物质的量浓度、质量摩尔浓度、质量分数、物质的量分数、滴定度）；了解稀溶液通性，掌握其定性比较及有关计算。

溶液是物质在自然界中存在的最主要的形式之一。溶液在工农业生产、生命活动过程及科学研究等各个领域中都有广泛的应用。在工业上许多物质必须配成溶液才能进行合成；在农业上，无论施用哪种化肥或农药，都应配制成一定浓度的溶液，才能被农作物有效地吸收；生物体内的无机物和有机物也是以水溶液的形式在体内输送和流通的；在化学、生物化学学

科及生命科学等研究领域都离不开溶液。

第一节 溶液及其浓度

一、分散系

1. 概念

分散系是指一种或几种物质分散在另一种物质中所形成的体系。如黏土微粒分散在水中形成泥浆；奶油、蛋白质和乳糖分散在水中成为牛奶；空气分散在泥土中成为疏松的土壤；矿物分散在岩石中成为矿石等。被分散的物质称**分散质**（或分散相），起分散作用的物质称为**分散剂**（或分散介质）。

2. 分类

在各种分散系中，按分散质粒子的大小，可分为三类，见表 1-1。

表 1-1 分散系的分类

类 型	分子分散系	胶体分散系		粗分散系
颗粒直径	小于 1 nm	1~100 nm		大于 100 nm
分散质	小分子或离子 (低分子物质溶液)	大分子 (高分子物质溶液)	分子的小集合体 (胶体溶液)	分子的大集合体 (浊液)
某些性质	单 相	单 相	多 相	多 相
	能透过半透膜	能透过滤纸，不能透过半透膜		不能透过滤纸

二、溶液的一般概念

如表 1-1 所示，分散质粒子直径小于 1 nm，以分子或离子状态均匀地分散在分散介质中，所形成的均匀稳定的分散系称为**分子分散系**，又称**溶液**。溶液包括气态、液态和固态三种。不过，我们通常所指的溶液乃是指液态溶液。

1. 定义

溶液是由两种或两种以上不同物质所组成的均匀稳定的体系。溶液中，分散质（被溶解的物质）称**溶质**，分散剂（溶解溶质的物质）称**溶剂**。

日常生活和工业上所指的溶液，一般都是水溶液。溶液的基本特征表现为均匀性和稳定性。均匀性是指溶液任意部分的浓度相同；稳定性是指外界条件（如温度、压力）不变，溶剂不蒸发时，溶质和溶剂不会发生分离。

2. 溶解度

在一定温度和压力下,物质在一定量溶剂中溶解的最大量为该物质的**溶解度**。固体物质的溶解度是指 100 g 溶剂中所溶解该固体物质的质量(单位: g)。

各种物质溶解度差别很大。在室温下,一般把溶解度在 10 g 以上的物质称为易溶物质, 1~10 g 之间的物质称为可溶物质, 0.01~1 g 之间的物质称为微溶物质; 0.01 g 以下称为难溶物质。

物质溶解度的大小主要取决于溶质和溶剂的本性以及温度等。溶质和溶剂的本性可以用相似相溶来解释。所谓相似相溶,主要是指溶质和溶剂结构相似,分子间作用力相近,则彼此相互易于溶解。大多数固体物质的溶解度是随温度的升高而增大的。

三、溶液浓度的表示方法

由于许多化学反应都是在液态溶液中进行的,而溶液的性质常与溶液中溶质和溶剂的相对含量有关,因此溶液浓度的表示方法十分重要。溶液浓度有各种各样的表示方法。本节将着重介绍物质的量浓度、质量摩尔浓度、质量分数、物质的摩尔分数以及滴定度。

(一) 物质的量浓度 c_B

1. 物质的量及其单位

物质的量(n_B)是国际单位制中七个基本物理量之一,它是用来表示微观基本单元(简称基本单元)B 的数量的物理量,它的基本单位是摩尔(mol)。根据 1971 年第 14 届国际计量大会的决议,摩尔的定义有两点:

其一,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 kg 碳-12 的原子数目相等。

其二,在使用摩尔时,必须注明基本单元,它可以是分子、原子、离子或基团,也可以是这些粒子的特定组合。

摩尔定义的第一点表明,摩尔是物质的量的单位,既不是质量的单位,也不是数目的单位。只要体系中基本单元 B 的数目与 0.012 kg 碳-12 的原子数目一样多,则该物质 B 的物质的量 n_B 就是 1 mol。如果体系中基本单元 B 的数目与 0.018 kg 碳-12 的原子数目一样多,则该物质 B 的物质的量 n_B 就是 1.5 mol。

摩尔定义的第二点明确规定,使用摩尔时,必须指明物质的基本单元。在分析化学中,最常用到的基本单元是分子、离子或用化学式表示的原子组合,也可能是这些单元的某一分数。

如 H, H_2 , NaOH, $\frac{1}{2}H_2SO_4$, $\frac{1}{5}KMnO_4$, SO_4^{2-} 和 $(H_2 + \frac{1}{2}O_2)$ 等。

在确定物质 B 的物质的量浓度时,还必须知道物质 B 的摩尔质量 M_B , 它的定义是:

物质 B 的质量(m)除以物质 B 的物质的量(n_B)称物质 B 的**摩尔质量**(M_B), 即

$$M_B = \frac{m}{n_B} \quad (1-1)$$

M_B 的国际单位制(SI)单位是 $kg \cdot mol^{-1}$, 但常用单位是 $g \cdot mol^{-1}$ 。其值与所选用的基本单

元 B 有关。因此, 摩尔质量必须指明基本单元。例如:

$$M_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 98.08 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}, \quad M_{\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4} = 49.04 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}, \quad M_{\frac{1}{5}\text{KMnO}_4} = 31.61 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

2. 物质的量浓度

按国际单位制(SI)定义, 溶液中溶质 B 的物质的量(n_{B})除以溶液的体积(V)就是溶质 B 的物质的量浓度(简称浓度)。用符号 c_{B} 或 $[\text{B}]$ 表示。

表达式:

$$c_{\text{B}} = \frac{n_{\text{B}}}{V} \quad (1-2)$$

$$\therefore n_{\text{B}} = \frac{m}{M_{\text{B}}}$$

$$\therefore c_{\text{B}} = \frac{n_{\text{B}}}{V} = \frac{m}{M_{\text{B}} \cdot V}$$

式中, c_{B} : 物质 B 的浓度, 单位 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

n_{B} : 物质 B 的物质的量, 单位 mol

V : 溶液体积, 单位 L

M_{B} : 物质 B 的摩尔质量, 单位 $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

由于溶液体积随温度而变, 所以 c_{B} 也随温度变化而变化。

例 1-1 欲配制 500 mL $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaOH 溶液, 问需要用纯 NaOH 多少克?

解:

$$M_{\text{NaOH}} = 40 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\therefore c_{\text{NaOH}} = \frac{n_{\text{NaOH}}}{V} = \frac{m_{\text{NaOH}}}{M_{\text{NaOH}} \cdot V}$$

$$\begin{aligned} \therefore m_{\text{NaOH}} &= c_{\text{NaOH}} \cdot M_{\text{NaOH}} \cdot V \\ &= 0.1 \times 40 \times \frac{500}{1000} \text{ g} = 2.0 \text{ g} \end{aligned}$$

(二) 质量摩尔浓度 b_{B}

溶液中溶质 B 的物质的量(n_{B})除以溶剂质量(m_{A})就是溶质 B 的质量摩尔浓度。用符号 b_{B} 表示。

表达式:

$$b_{\text{B}} = \frac{n_{\text{B}}}{m_{\text{A}}} \quad (1-3)$$

$$\therefore n_{\text{B}} = \frac{m}{M_{\text{B}}}$$

$$\therefore b_{\text{B}} = \frac{m}{M_{\text{B}} \cdot m_{\text{A}}}$$

式中, b_{B} : 物质 B 的质量摩尔浓度, 单位 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$

n_{B} : 物质 B 的物质的量, 单位 mol

m_{A} : 溶剂 A 的质量, 单位 kg

m : 物质 B 的质量, 单位 g

M_{B} : 物质 B 的摩尔质量, 单位 $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

由于物质的质量不受温度的影响, 所以 b_{B} 不随温度的变化而变化。因此, 它通常被用于稀溶液依数性的研究中。对于较稀的水溶液来说, 质量摩尔浓度近似等于其物质的量浓度。

例 1-2 50 g 水中溶有 2.00 g 甲醇 (CH₃OH), 计算该溶液的质量摩尔浓度。

解: $\therefore M_{\text{CH}_3\text{OH}} = 32.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$b_{\text{B}} = \frac{n_{\text{B}}}{m_{\text{A}}}$$

$$\therefore b_{\text{B}} = \frac{m_{\text{B}}}{M_{\text{B}} \cdot m_{\text{A}}} = \frac{2.00}{32.0} \times \frac{1000}{50.0} \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1} = 1.25 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

(三) 质量分数 ω_{B}

某组分 B 的质量 (m_{B}) 占混合物的总质量 ($m_{\text{总}}$) 的分数, 就是组分 B 的**质量分数**。用符号 ω_{B} 表示, 量纲为 1。

表达式:

$$\omega_{\text{B}} = \frac{m_{\text{B}}}{m_{\text{总}}} \quad (1-4)$$

质量分数不随温度的变化而变化。使用中要注意:

1. 在实际工作中, 对于很稀的水溶液, 常近似地将 100 mL 溶液所含溶质的克数看成其质量分数。例如, 生理盐水氯化钠含量为 0.9%, 这通常是指每 100 mL 水中含有 0.9 g 氯化钠。这是因为很稀的水溶液的密度近似地等于 $1.0 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ (水的密度), 则 100 mL 此种溶液其质量近似等于 100 g。

2. 医用消毒酒精的溶液为 75%, 是指 100 mL 这种酒精溶液中含纯酒精 75 mL。实际为体积分数。

3. 在水质分析或环境保护等方面, 因表示微量成分的含量, 为了使用和计算的方便, 常用 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 或 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (ppm) 和 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ (ppb) 表示稀溶液浓度。^①

(四) 物质的摩尔分数 x_{B}

物质 B 的物质的量 (n_{B}) 占混合物的物质的量的分数称为物质 B 的**摩尔分数**。用符号 x_{B} 表示, 量纲为 1。

表达式:

$$x_{\text{B}} = \frac{n_{\text{B}}}{\sum n_i} \quad (1-5)$$

式中, $\sum n_i$: 混合物中各组分的物质的量的总和, 单位 mol。

显然, 纯物质 $x_{\text{B}} = 1$, 混合物 $x_{\text{B}} < 1$ 。

物质的摩尔分数 x_{B} 不随温度变化而变化。

例 1-3 2.00 g NaCl 溶于 100 g H₂O 中, 计算 H₂O 和 NaCl 摩尔分数。

解: $\therefore x_{\text{B}} = \frac{n_{\text{B}}}{\sum n_i} = \frac{n_{\text{B}}}{n_{\text{A}} + n_{\text{B}}}$

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

$$\therefore x_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\frac{100}{18.0}}{\frac{2.00}{58.5} + \frac{100}{18.0}} = 0.994$$

^① ppm, ppb 均非法定计量单位, 建议不要使用。

$$\begin{aligned}x_{\text{NaCl}} &= 1 - x_{\text{H}_2\text{O}} \\&= 1 - 0.994 = 0.006\end{aligned}$$

倘若研究气体则用体积分数。用体积的相对量表示。

$$\begin{aligned}x_{\text{B}} &= \frac{V_{\text{B}}}{V_{\text{A}} + V_{\text{B}}} \\x_{\text{A}} &= \frac{V_{\text{A}}}{V_{\text{A}} + V_{\text{B}}} \\x_{\text{A}} + x_{\text{B}} &= 1\end{aligned}$$

此外，在化工生产和实验室常用的还有比例浓度。例如 1 : 1 的盐酸就是指 1 体积盐酸和 1 体积水的混和物。

(五) 滴定度 T_{S} , $T_{\text{X/S}}$

为了计算方便，分析化学中常用滴定度来表示溶液的浓度。

每毫升标准溶液中含有溶质的质量就称为**滴定度**，用符号 T_{S} 表示。

例如： $T_{\text{HCl}} = 0.003145 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ，表示每毫升 HCl 标准溶液中含 HCl 的质量为 0.003145 g。

分析化学中，在测定某种物质的含量时，为了计算简便，滴定度还常用每毫升标准溶液相当于被测物质的质量来表示，即用 $T_{\text{X/S}}$ 表示（X 代表被测物质的化学式；S 代表标准溶液的化学式）。例如： $T_{\text{Fe/K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7} = 0.006720 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ，表示每毫升 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 标准溶液恰能与 $0.006720 \text{ g Fe}^{2+}$ 反应。这在生产控制分析中应用很方便，知道标准溶液的体积，可立即算出被测物的质量。

上述两种滴定度的关系可用下式表示：

$$T_{\text{X/S}} = T_{\text{S}} \cdot \frac{M_{\text{X}}}{M_{\text{S}}} \quad T_{\text{S}} = T_{\text{X/S}} \cdot \frac{M_{\text{S}}}{M_{\text{X}}}$$

式中， M_{S} 表示标准溶液中溶质的摩尔质量， M_{X} 表示被测物质的摩尔质量。

四、溶液浓度之间的相互换算

实际工作中，常常需要将一种溶液的浓度用另一种浓度来表示，即进行浓度间的换算：

1. 物质的量浓度 c_{B} 与质量分数 ω_{B}

$$\begin{aligned}c_{\text{B}} &= \frac{n_{\text{B}}}{V} = \frac{m}{M_{\text{B}} \times V} = \frac{m}{M_{\text{B}} \times m_{\text{总}} / \rho} \\&= \frac{\rho \times m / m_{\text{总}}}{M_{\text{B}}} = \frac{\omega_{\text{B}} \times \rho}{M_{\text{B}}}\end{aligned}$$

(其中 $V = m_{\text{总}} / \rho$, $\omega_{\text{B}} = m_{\text{B}} / m_{\text{总}}$)

式中， ρ ：溶液的密度，单位 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

由于通常使用的密度单位为 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ，因此上述关系式为：

$$c_{\text{B}} = \frac{\omega_{\text{B}} \times \rho \times 1000}{M_{\text{B}}}$$

2. 物质的量浓度 c_{B} 与质量摩尔浓度 b_{B}

$$c_B = \frac{n_B}{V} = \frac{n_B \times \rho}{m_{\text{总}}}$$

(1) 若该体系是一个两组分体系, 且 B 组分的含量较少, 则 $m_{\text{总}} \approx m_A$ 上式可近似为:

$$c_B = \frac{n_B \times \rho}{m_{\text{总}}} \approx \frac{n_B \times \rho}{m_A} = b_B \times \rho$$

(2) 若该溶液是一个较稀的水溶液, 且密度 $\rho \approx 1.0 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$, 则

$$c_B \approx b_B$$

3. 质量摩尔浓度 b_B 与质量分数 ω_B

对于一个浓度较稀的溶液体系而言,

$$b_B = \frac{\omega_B \times \rho \times 1000}{M_B}$$

应注意上述两个关系只适用于稀溶液, 对浓溶液将会产生较大的误差。

4. 物质的量浓度 c 与滴定度 T

$$c = \frac{T}{M} \times 1000$$

5. 浓度的稀释

在稀释时, 溶液的体积由 V_1 变到 V_2 , 但溶质的物质的量 ($n=cV$) 并不改变, 它们的关系为:

$$c_1 V_1 = c_2 V_2$$

例 1-4 100 g 溶液中溶解 10 g HCl, 溶液的密度为 $1.047 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$, 求此盐酸溶液的

(1) 物质的量浓度; (2) 质量摩尔浓度; (3) 摩尔分数。

解: 已知 $M_{\text{HCl}} = 36.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ $\omega_{\text{HCl}} = \frac{10}{100} = 0.10$

$$(1) \quad c_{\text{HCl}} = \frac{\omega_{\text{HCl}} \times \rho \times 1000}{M_{\text{HCl}}} = \frac{0.10 \times 1.047 \times 1000}{36.5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \\ = 2.9 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$(2) \quad \because \quad m_{\text{H}_2\text{O}} = (100 - 10) \text{ g} = 90 \text{ g} \quad m_{\text{HCl}} = 10 \text{ g}$$

$$n_{\text{HCl}} = \frac{m_{\text{HCl}}}{M_{\text{HCl}}} = \frac{10}{36.5} \text{ mol} = 0.27 \text{ mol}$$

$$\therefore \quad b_{\text{HCl}} = \frac{n_{\text{HCl}}}{m_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{0.27}{90 \times 10^{-3}} \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1} = 3.0 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$(3) \quad \because \quad n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{90}{18} \text{ mol} = 5.0 \text{ mol}$$

$$\therefore \quad x_{\text{HCl}} = \frac{n_{\text{HCl}}}{n_{\text{HCl}} + n_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{0.27}{0.27 + 5.0} = 0.051$$

例 1-5 求浓度为 $c_{\text{HCl}} = 0.1015 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的标准 HCl 溶液对 NH_3 溶液的滴定度。

解: $\because \quad c = \frac{T}{M} \times 1000 \quad M_{\text{NH}_3} = 17.03 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$\therefore \quad T_{\text{NH}_3/\text{HCl}} = c_{\text{HCl}} \cdot M_{\text{NH}_3} \times 10^{-3} \\ = 0.1015 \times 17.03 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1} \\ = 1.728 \times 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$$

最后, 为便于比较记忆, 将几种常用的溶液浓度的表示式列于表 1-2。

表 1-2 几种常用的溶液浓度表示式

浓度名称	常用符号	定 义	表 达 式	备 注
质量分数	ω_B (量纲为 1)	$\frac{\text{溶质质量}}{\text{溶质质量} + \text{溶剂质量}}$	$\omega_B = \frac{m_B}{m_{\text{总}}}$	1 mg/1 kg (ppm) 1 μg /1kg (ppb)
物质的量浓度	c_B ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)	溶液中溶质 B 的物质的量 (n_B) 除以溶液的体积 (V)	$c_B = \frac{n_B}{V} = \frac{m}{M_B \cdot V}$	$c_B = \frac{\omega_B \times \rho \times 1000}{M_B}$
质量摩尔浓度	b_B ($\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	溶液中溶质 B 的物质的量 (n_B) 除以溶剂质量 (m_A)	$b_B = \frac{n_B}{m_A}$	b_B 与温度无关
摩尔分数	x_B (量纲为 1)	在一物系中, 某物质 B 的物质的量占整个物系的物质的量的分数	$x_B = \frac{n_B}{\sum n_i}$	在一物系中, 各组分的摩尔分数之和等于 1

第二节 稀溶液的依数性

虽然不同的溶液各有其不同的特性, 如密度、颜色、导电性和酸碱性等, 这些性质是由溶质的本质决定, 溶质不同则性质各异; 但溶液的另外一些性质: 如蒸气压下降、沸点升高、凝固点下降和渗透压, 则是一般稀溶液所共有的。由于这些稀溶液性质只与溶质的数目有关, 而与溶质性质无关, 所以叫做**稀溶液的依数性**。又称稀溶液定律。

在日常生活中我们经常会遇到一些问题, 例如: 为什么葡萄糖溶液的沸点比水的沸点高? 为什么冰盐混合物的凝固点比水的冰点低? 为什么海鱼不能在河里生长? 这些问题都与依数性有关。

要讨论某溶液的依数性, 则该溶液必须具备以下两个条件: ①溶质为非电解质, 而且该物质必须是难挥发的物质; 如蔗糖 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$, 尿素 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 等。②溶液必须是稀溶液, 不考虑粒子间的相互作用。倘若是浓溶液, 则溶质粒子间相互作用较大, 此时溶质粒子间的相互作用就不能忽略。

一、溶液的蒸气压下降

实验证明, 各种液体在一定的温度下都有一定的蒸气压。但若在液体中溶入少量难挥发的非电解质后, 溶液的蒸气压就会下降。如果在不同的温度下测定某稀溶液的蒸气压 p , 并与相应温度下纯溶剂的蒸气压 p^0 对比作图, 则可发现各温度下溶液的蒸气压总是低于相应温度下纯溶剂的蒸气压 (见图 1-1) 这种现

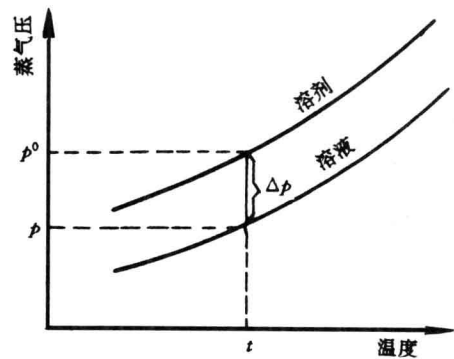


图 1-1 溶液的蒸气压下降

象称为溶液的蒸气压下降。

法国物理学家拉乌尔归纳了多次实验的结果，于1887年发表了著名的拉乌尔定律：在一定的温度下，难挥发的非电解质稀溶液的蒸气压下降与溶质的质量摩尔浓度成正比，而与溶质的本性无关。

$$\Delta p = K_{\text{蒸}} \cdot b_{\text{B}}$$

(1-6)

式中， Δp ：蒸气压下降值 $K_{\text{蒸}}$ ：蒸气压下降常数

b_{B} ：溶质 B 的质量摩尔浓度

溶液蒸气压下降的原因：由于溶质的加入，溶质粒子与溶剂分子形成溶剂化物分布在溶液中，致使溶剂本身的相对浓度减少。在单位时间内从溶液中蒸发出的溶剂分子数比纯溶剂中蒸发出的分子数少。因此，在达到平衡时，在溶液上面的单位体积内溶剂蒸气分子比在纯溶剂上面的少。即难挥发物质的溶液蒸气压低于纯溶剂的蒸气压，显然，溶液的浓度愈大，溶液的蒸气压下降就愈多。

溶液的蒸气压下降，对植物的耐旱性具有重要意义。生物化学研究证明，当外界气温升高时，引起有机体细胞中可溶物（主要是糖类）强烈地溶解，增大了细胞汁液的浓度，从而降低了细胞汁液的蒸气压，使水分蒸发过程缓慢下来，因此，植物在较高气温下仍能保持必需的水分，表现出耐旱性。

问题 1-1 按蒸气压大小的顺序，下列排列次序是否正确？

$$1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{H}_2\text{SO}_4 > 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaCl} > 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaCl} > 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{CH}_3\text{COOH} > 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 > 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$$

二、溶液的沸点升高和凝固点下降

由于蒸气压下降，引起稀溶液的沸点高于纯水的沸点，而其凝固点则低于纯水的凝固点（或称冰点），见图 1-2。

拉乌尔用实验方法确定：难挥发性非电解质溶液的沸点升高或凝固点下降均与溶质的质量摩尔浓度成正比。其数学表达式为：

$$\Delta T_{\text{b}} = K_{\text{b}} \cdot b_{\text{B}}$$

(1-7)

$$\Delta T_{\text{f}} = K_{\text{f}} \cdot b_{\text{B}}$$

(1-8)

以上两式中， ΔT_{b} ：沸点升高值 K_{b} ：摩尔沸点升高常数

ΔT_{f} ：凝固点下降值 K_{f} ：摩尔凝固点降低常数

K_{b} ， K_{f} 值取决于溶剂的性质，与溶质的性质无关。现将常用溶剂的 K_{b} 和 K_{f} 列于表 1-3。

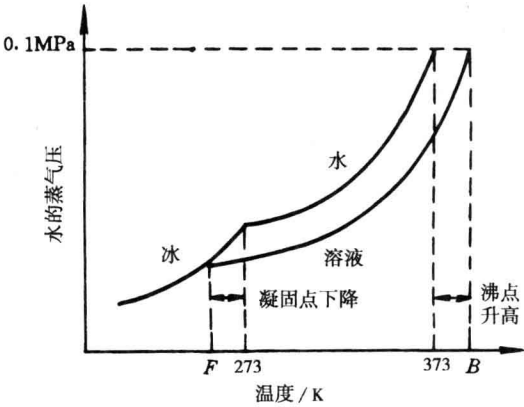


图 1-2 溶液的沸点升高、凝固点下降