



21 世纪课程教材

全国医学高职高专、成人大专教材

供临床、检验、影像、妇幼、护理、公共卫生管理类专业用

医用化学(上册)

主 编 郑启芳

副主编 张殿芬 王爱兰

华中科技大学出版社

<http://press.hust.edu.cn>

21 世纪课程教材
全国医学高职高专、成人大专教材
供临床、检验、影像、妇幼、护理、公共卫生管理类专业用

医 用 化 学

(上册)

主 编 郑启芳
副主编 张殿芬 王爱兰
主 审 李丽英 李光道
编 者 (以姓氏笔画为序)
王爱兰 (华中科技大学同济医学院)
刘 颖 (华中科技大学同济医学院卫校)

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

医用化学(上册)/郑启芳 主编
武汉:华中科技大学出版社,2004年7月
ISBN 7-5609-3182-0

I. 医…
II. ①郑… ②张… ③王…
III. 医用化学-高等学校-教材
IV. R313

医用化学(上册)

郑启芳 主编

策划编辑:胡章成
责任编辑:胡章成
责任校对:封春英

封面设计:潘 群
责任监印:熊庆玉

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:华中科技大学惠友文印中心
印 刷:湖北恒吉印务有限公司

开本:787×960 1/16

印张:12.75

字数:217 000

版次:2004年7月第1版

印次:2004年7月第1次印刷

定价:18.00元

ISBN 7-5609-3182-0/R·40

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

前言

高职高专教育是高等教育体系中相对独立的层次,具有其自身的特点,培养的是德、智、体、美全面发展的高等技术应用型人才。21世纪要求高职高专人才必须具有较强的技术应用能力及其相适应的基础理论知识,知识面较宽,素质高,因此高职高专的教学内容和教材特点应是:面广、通俗、实用。

目前医学类高职高专教学缺乏合适的化学教材。通常,有的学校选用的是医学本科层次的普通“压缩”版,非“专”非“本”,不具有高职高专层次教学用书的特点,给学生学习和教师讲授带来困难,更不利于学生自学。本教材就是在这种状况下,根据教育部“高职高专化学课程教学内容体系改革、建设的研究与实践”重大教育教学研究课题的精神,针对医学类高职高专等教育层次的特点,结合多年来的教学经验和改革实践而编写的。

教材编写的指导思想是:提高教材的“思想性、科学性、先进性、启发性和适用性”。根据医学类该层次的培养目标,强调教材应突出基础理论知识的应用和实践能力的培养;深度和广度应控制在以应用为目的,以必需和够用为尺度;能体现21世纪对该层次人才培养的要求,面广、通俗、实用,利于自学。

《医用化学》(上册)主要包括:溶液和胶体溶液,化学反应与物质结构基础,常用分析测试方法简介,实验等四大部分,共八章内容。其中溶液、缓冲溶液等章节保留了目前使用教材中的实用部分,并在其中增加了与中学知识的衔接和与医学密切相关的应用性内容;压缩了本科教材中原子结构与分子结构的内容,并将其合编为一章,介绍最基本的结构知识,克服和避免目前教材中出现的必要的结构基础知识在中学没学、教材不讲、后继要用的矛盾,并且为了提高医学生的空间思维能力和知识结构素质,本教材大胆适时地引入了微观的概念,这是与其他专科教材所不同之处;编进滴定分析等测试手段的内容,扩大学生知识面和教材的使用范围;强化实验并增加了体现学生自行设计的实验内容。

本书理论课的参考学时为36~42学时,其中:溶液和溶液的渗透压4~5学时,缓冲溶液6~7学时,胶体溶液5~6学时,原子与分子结构基础8~9学时,配位化合物8~9学时,氧化还原反应与电极电位4~5学时,酸碱滴定法2学时,可见分光光度法2学时。使用本教材时学时数可根据各学校情况而定,书中正文小5号文字所述部分内容供学生参考。本书采用国家统一公布的计量单位、符号和化学名词。

本书由华中科技大学同济医学院郑启芳、王爱兰、胡永祥、胡国志、刘颖及首都

• II • 医用化学(上册)

医科大学张殿芬编写。华中科技大学同济医学院化学系李义勇和刘莉同志也参加了实验等部分内容的编写工作。

限于编者水平,书中错漏之处在所难免,敬希广大读者和同仁对书中不妥和错误之处批评指正。

编 者

2003 年 12 月于华中科技大学
同济医学院

目 录

第一篇 溶液和胶体溶液

第一章 溶液和溶液的渗透压	(3)
第一节 溶液的组成量度	(3)
一、物质的量和物质的量浓度	(3)
二、质量摩尔浓度	(5)
三、质量浓度	(5)
四、质量分数和体积分数	(6)
第二节 溶液的渗透压	(7)
一、溶液的蒸气压下降	(7)
二、溶液的渗透压	(8)
三、渗透压在医学上的意义	(10)
习题	(13)
第二章 缓冲溶液	(15)
第一节 酸碱质子理论	(15)
一、酸碱的定义	(15)
二、酸碱反应的实质	(16)
第二节 弱电解质在溶液中的解离和解离平衡	(17)
一、解离平衡常数	(17)
二、解离度	(18)
第三节 水溶液中质子转移平衡及溶液 pH 值计算	(18)
一、水的质子自递反应和水的离子积	(18)
二、一元弱酸弱碱在溶液中的质子转移平衡及 pH 值计算	(19)
三、难溶电解质的沉淀平衡	(22)
第四节 缓冲溶液	(25)
一、缓冲溶液的概念及缓冲作用	(25)
二、缓冲溶液的组成及缓冲机制	(25)
三、缓冲溶液的 pH 值计算	(26)
第五节 缓冲容量与缓冲溶液的配制	(28)
一、缓冲容量	(28)
二、缓冲溶液的配制	(30)

第六节 缓冲溶液在医学上的意义	(32)
一、血液中的缓冲系	(32)
二、人体正常 pH 值的维持	(32)
习题	(33)
第三章 胶体溶液	(35)
第一节 表面现象	(36)
一、表面(简称胶体)张力与表面能	(36)
二、吸附现象	(37)
三、乳状液和乳化作用	(40)
第二节 溶胶	(41)
一、溶胶的制备与净化	(41)
二、溶胶的基本性质	(43)
第三节 高分子溶液	(47)
一、高分子化合物的概念及结构特征	(47)
二、高分子溶液的形成及特性	(47)
三、高分子溶液对溶胶的保护作用	(48)
第四节 凝胶与膜平衡	(49)
一、凝胶	(49)
二、膜平衡	(51)
第五节 胶体化学在医学上的应用	(53)
一、人工肝与人工肺	(53)
二、医用高分子材料的血液相容性	(53)
习题	(54)

第二篇 化学反应与物质结构基础

第四章 原子与分子结构基础	(57)
第一节 原子核外电子的运动状态	(57)
一、原子的组成	(57)
二、原子核外电子的运动状态及特征	(58)
三、氢原子的原子轨道和电子云	(59)
第二节 多电子原子的核外电子排布和周期表	(64)
一、核外电子排布的规律	(64)
二、原子的电子组态与元素周期表	(66)
三、同位素及其应用	(70)
第三节 现代价键理论	(71)

一、化学键的定义及分类	(72)
二、现代价键理论	(72)
三、共价键的类型及键参数	(74)
四、杂化轨道理论	(77)
五、价层电子对互斥理论	(81)
第四节 分子间作用力和氢键	(83)
一、分子的极性与分子的极化	(83)
二、范德华力	(84)
三、氢键	(86)
习题	(87)
第五章 配位化合物	(89)
第一节 配合物的基本概念	(89)
一、配合物的概念	(89)
二、配合物的组成	(90)
三、配合物的命名	(91)
四、配合物的几何异构现象	(92)
第二节 配位平衡	(93)
一、配合物的稳定常数	(93)
二、配位平衡的移动	(94)
三、配合物稳定常数的应用	(97)
第三节 螯合物	(98)
一、螯合物的基本概念	(98)
二、影响螯合物稳定性的因素	(99)
第四节 配合物在医学上的意义	(100)
一、在生命过程中的重要作用	(100)
二、金属配合物或配体作为药物	(100)
三、用做有毒元素中毒的解毒剂	(100)
四、用做抗凝血剂和抗菌剂	(101)
五、在临床检验和生化实验中的应用	(101)
习题	(101)
第六章 氧化还原反应与电极电位	(103)
第一节 氧化还原反应	(103)
一、氧化值及氧化还原反应	(103)
二、氧化还原反应方程式的配平	(105)
第二节 原电池与电极电位	(106)

一、原电池	(106)
二、电极电位	(109)
第三节 电极电位的应用	(115)
一、比较氧化剂和还原剂的相对强弱	(115)
二、判断氧化还原反应进行的方向	(115)
三、判断氧化还原反应进行的程度	(116)
第四节 电位法测定溶液的 pH 值	(117)
一、常用参比电极	(118)
二、pH 值指示电极	(119)
三、电位法测定溶液的 pH 值	(120)
第五节 氧化还原反应在医学上的应用	(121)
一、在增进药物稳定性上的应用	(121)
二、在药物检验上的应用	(121)
三、在消毒杀菌及净水方面的应用	(122)
四、生物传感器简介	(122)
习题	(122)

第三篇 常用分析测试方法简介

第七章 滴定分析法	(127)
第一节 滴定分析概述	(127)
一、滴定分析的基本概念及几个常用术语	(127)
二、滴定分析对反应的要求和操作过程	(127)
三、滴定分析的计算	(129)
四、分析结果的误差和有效数字	(130)
第二节 酸碱滴定法	(135)
一、酸碱指示剂	(135)
二、滴定曲线和指示剂的选择	(137)
三、酸碱滴定法的应用	(143)
第三节 高锰酸钾法	(145)
一、基本原理	(145)
二、标准溶液的配制与标定	(145)
三、应用示例	(146)
第四节 整合滴定法	(148)
一、概述	(148)
二、影响 EDTA 滴定的因素	(148)

三、金属指示剂	(150)
四、应用示例	(151)
习题	(152)
第八章 可见分光光度法	(153)
第一节 物质的吸收光谱	(153)
一、光的基本性质	(153)
二、物质对光的选择性吸收	(154)
三、物质的吸收光谱	(154)
四、分子吸收光谱的产生	(154)
第二节 分光光度法的基本原理	(155)
一、透光率和吸光度	(155)
二、朗伯-比尔定律	(156)
三、吸光系数	(156)
第三节 可见分光光度法	(157)
一、可见分光光度计	(157)
二、测定方法	(159)
第四节 提高测量灵敏度和准确度的方法	(161)
一、分光光度法的误差	(161)
二、显色条件的选择	(163)
三、参比溶液(空白溶液)	(163)
习题	(164)

第四篇 化学实验

第一部分 实验须知	(167)
一、实验规则与注意事项	(167)
二、基础化学实验常用仪器	(169)
第二部分 实验内容	(170)
实验一 分析天平称量练习	(170)
实验二 缓冲溶液的配制与性质	(172)
实验三 酸碱标准溶液的配制及其浓度的比较	(175)
实验四 HCl 标准溶液浓度的标定	(179)
实验五 醋酸解离度与解离常数的测定	(181)
实验六 氧化还原与电极电位	(184)
实验七 水样中铁含量测定	(187)
实验八 溶胶的制备和性质	(190)

溶液和胶体溶液

一种或几种物质以微粒的形式分散在另一种物质中所组成的系统称为分散系(dispersed system),被分散的物质称为分散相或分散质,容纳分散相(质)的连续介质称为分散介质。按照分散相粒子大小的不同,分散系可分为分子或离子分散系,胶体分散系和粗分散系。如医药上用的硫磺软膏,临床上用的葡萄糖注射液,组成人体的细胞内外液和食用的牛奶、鱼肝油乳剂等都是具有重要意义的不同类型的分散系。本篇将分别介绍与医学关系密切的各类分散系的内容,它包括溶液和溶液的渗透压、缓冲溶液、胶体溶液三章,前两章讨论的属于分子分散系的内容,此类溶液也称真溶液,后一章讨论的则包括胶体分散系和粗分散系的有关内容。

第一章 溶液和溶液的渗透压

物质以分子、原子或离子状态分散于另一种物质中所形成的均匀而又稳定的系统叫溶液。我们最熟悉的是液态溶液,例如糖水、盐水。人体的血液、淋巴液及各种腺体的分泌液等都是溶液。人的生命过程与溶液密切相关,体内一系列新陈代谢都须在溶液中进行,如食物的消化、吸收,营养的输送,废物的排泄等等。不同溶质和溶剂组成的溶液可以有不同的性质,例如溶液的颜色、体积变化等,但也具有一些共同的性质(即通性),例如溶液的蒸气压下降、沸点升高、凝固点降低以及溶液的渗透压等。这些性质都只与溶液中溶质的粒子数有关,而与溶质的本性无关。其中溶液的渗透压与生命科学密切相关,为此本章将主要介绍溶液的渗透压及与之相关的医学上常用的几种溶液的组成量度。

第一节 溶液的组成量度

溶液的组成量度(或标度)是指一定量的溶液或溶剂中所含溶质的量。下面介绍医学上常用的几种溶液组成量度的表示方法。

一、物质的量和物质的量浓度

物质的量(amount of substance)是表示物质数量的基本物理量,常用符号 n_B 表示。物质的量的 SI(国际单位)基本单位是摩尔(mole),单位符号为 mol。“摩尔是一系统的物质的量,该系统中所包含的基本单元(elementary entity)数与 $0.012 \text{ kg } ^{12}\text{C}$ 的原子数目相等。”这个定义表明,摩尔是物质的量的单位,不是质量的单位。只要系统中物质 B 的基本单元数目与 $0.012 \text{ kg } ^{12}\text{C}$ 的原子数目,即阿伏加德罗常数(Avogadro-constant) $L = (6.022\ 136\ 7 \pm 0.000\ 003\ 6) \times 10^{23} \text{ mol}$ 相等,则物质 B 的物质的量就是 1 mol 。应该特别强调的是,在使用摩尔时,必须同时指明基本单元,它可以是原子、分子、离子、电子或其他粒子,或是这些粒子的特定组合。其基本单元应该用粒子符号、物质的化学式或它们的特定组合表示。例如,我们说 H 、 H_2 、 H^+ 、 e^- 、 $\frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ 、 $(\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2)$ 等的物质的量是多少都是可以的。但若我们说硫酸的物质的量为多少摩尔,含义就不明确了,因为没有指明基本单元,它们可以是 H_2SO_4 ,也可以是 $\frac{1}{2} \text{H}_2\text{SO}_4$ 。当用 H_2SO_4 作基本单元时, $98 \text{ g}(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 的物质的量表示为: $n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1 \text{ mol}$,而用 $(\frac{1}{2} \text{H}_2\text{SO}_4)$ 作基本单元时, $98 \text{ g}(\frac{1}{2} \text{H}_2\text{SO}_4)$

的物质的量表示为: $n(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4)=2\text{ mol}$ 。同理, 我们说 $1\text{ mol } \frac{1}{2}\text{Na}_2\text{CO}_3$ 具有的质量是 53 g 是正确的。但若说 1 mol 碳酸钠的质量是 106 g 就不对了。可见, 同样质量的物质, 采用的基本单元不同, 物质的量也不同。最后要指出的是“物质的量”是一个整体的专用名词, 文字上不能分开使用和理解。

物质 B 的物质的量 n_B 与 B 的质量 m_B 和摩尔质量 (molar mass) M_B 有如下关系:

$$n_B \stackrel{\text{def}}{=} m_B / M_B \quad (1-1-1)$$

式中, m_B 为溶质 B 的质量, M_B 为溶质 B 的摩尔质量, 符号“ $\stackrel{\text{def}}{=}$ ”意为“按定义等于”, 书写定义式时须以此注明; 摩尔质量的单位是千克每摩尔, 单位符号为 $\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。若以 $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 为单位时, 则某原子的摩尔质量数值等于其相对原子的质量 A_r , 某分子的摩尔质量的数值等于其相对分子质量 M_r 。

例 1-1 0.585 g NaCl 的物质的量是多少?

解 根据式(1-1-1), 可得:

$$n(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl})} = \frac{0.585}{58.5} \text{ mol} = 0.01 \text{ mol}$$

物质的量浓度 (amount-of-substance concentration) 定义为溶质 B 的物质的量 n_B 除以混合物 (溶液) 的体积 V , 常用符号 c_B 表示, 即

$$c_B \stackrel{\text{def}}{=} n_B / V \quad (1-1-2)$$

式中, c_B 为溶质 B 的物质的量浓度, n_B 为溶质 B 的物质的量, V 为溶液的体积。物质的量浓度的 SI 单位是摩尔每立方米, 单位符号为 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ 。由于立方米单位太大, 不大适用, 所以医学上常用的单位符号是 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 及 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。物质的量浓度简称为浓度。本书采用 c_B 表示 B 的初始 (或配制) 浓度, 而用 $[B]$ 表示 B 的平衡浓度。

在使用物质的量浓度时, 也必须指明物质的基本单元, 如 $c(\text{NaCl})=1\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(\frac{1}{2}\text{Cl}^-)=2\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 等。括号中的化学式即表示物质的基本单元。

世界卫生组织提议: 凡是已知相对分子质量 M_r 的物质在体液内的含量都应用物质的量浓度表示。例如人体血液葡萄糖含量的正常值, 过去习惯表示为 $70 \sim 100\text{ mg}\%$ (即 100 mL 血液中含葡萄糖 $70 \sim 100\text{ mg}$), 现应表示为 $c(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)=3.9 \sim 5.6\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ (即每升血液中含葡萄糖的物质的量为 $3.9 \sim 5.6\text{ mmol}$)。对于未知其相对分子质量的物质则可用下面介绍的质量浓度表示。

例 1-2 正常人血浆中每 100 mL 含 $\text{Na}^+ 326\text{ mg}$ 、 $\text{Ca}^{2+} 10\text{ mg}$, 试求 $c(\text{Na}^+)$, $c(\text{Ca}^{2+})$ 和 $c(\frac{1}{2}\text{Ca}^{2+})$ 各为多少 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$?

解 根据式(1-1-2), 可得:

$$c(\text{Na}^+) = \frac{n(\text{Na}^+)}{V} = \frac{m(\text{Na}^+)/M(\text{Na}^+)}{V} = \frac{326/23.0}{100/1\,000} \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} = 142 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$c(\text{Ca}^{2+}) = \frac{10/40}{100/1\,000} \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} = 2.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$c\left(\frac{1}{2}\text{Ca}^{2+}\right) = \frac{10/20}{100/1\,000} \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} = 5.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

二、质量摩尔浓度

质量摩尔浓度 (molality) 定义为溶液中溶质 B 的物质的量除以溶剂的质量, 用符号 b_{B} 表示, 即

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

式中, n_{B} 为溶质 B 的物质的量, m_{A} 为溶剂 A 的质量。 b_{B} 的 SI 单位是摩尔每千克, 单位符号为 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。溶质 B 的质量摩尔浓度也常用符号 m_{B} 表示, 为避免与质量符号 m_{B} 混淆, 本书采用符号 b_{B} 表示。

例 1-3 将 7.00 g 结晶草酸 ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 溶于 93.0 g 水中, 求草酸的质量摩尔浓度 $b(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$ 。

解 因为 $M(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 126 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, 而 $M(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 90.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, 所以 7.00 g 结晶草酸中草酸的质量为

$$m(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = \frac{7.00}{126} \times 90.0 \text{ g} = 5.00 \text{ g}$$

而溶液中水的质量为

$$m(\text{H}_2\text{O}) = [93.0 + (7.00 - 5.00)] \text{ g} = 95.0 \text{ g}$$

据式 (1-1-3) 得草酸的质量摩尔浓度为

$$b(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = n(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)/m(\text{H}_2\text{O}) = \frac{5.00/90.0}{95.0/1\,000} \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1} = 0.585 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

三、质量浓度

质量浓度 (mass concentration) 定义为溶质 B 的质量 m_{B} 除以混合物 (溶液) 的体积 V , 用符号 ρ_{B} 表示, 即

$$\rho_{\text{B}} \stackrel{\text{def}}{=} m_{\text{B}}/V \quad (1-1-4)$$

式中, m_{B} 为物质 B 的质量, V 为溶液的体积。溶质 B 的质量浓度的 SI 单位是千克每立方米, 单位符号为 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, 医学上常用的单位是 $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 等。值得注意的是, 质量浓度单位中表示质量的单位可以改变, 但表示体积的单位不能改变, 均用 L。世界卫生组织还提议: 在注射液的标签上要同时标明质量浓度和物质的量浓度, 如静脉注射用的氯化钠注射液应分别标明为 $\rho(\text{NaCl}) = 9 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $c(\text{NaCl}) = 0.15 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

例 1-4 500 mL 乳酸钠 ($\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3\text{Na}$) 注射液中含乳酸钠 56.0 g, 求该注射液的质量浓度和

物质的量浓度。

解 据式(1-1-4)得乳酸钠注射液的质量浓度为

$$\rho(\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3\text{Na}) = \frac{m(\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3\text{Na})}{V} = \frac{56.0}{500/1\,000} \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} = 112 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

据式(1-1-2)得乳酸钠注射液的物质的量浓度为

$$c(\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3\text{Na}) = \frac{n(\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3\text{Na})}{V} = \frac{\rho(\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3\text{Na})}{M(\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3\text{Na})} = \frac{112/112}{1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

因此,溶质 B 的质量浓度 ρ_B 与物质的量浓度 c_B 之间的换算,必须通过溶质 B 的摩尔质量 M_B 作桥梁进行换算,即 $\rho_B = c_B \cdot M_B$ 。

四、质量分数和体积分数

质量分数定义为溶质 B 的质量 m_B 除以混合物(溶液)的质量 m ,用符号 ω_B 表示,即

$$\omega_B \stackrel{\text{def}}{=} m_B / m \quad (1-1-5)$$

式中, m_B 为溶质 B 的质量, m 为混合物的总质量。质量分数无单位,可以用小数或百分数表示。例如市售浓硫酸的质量分数为 98% 或 96%,意思是 100g 溶液中含溶质(硫酸)的质量数为 98 g 或 96 g。

例 1-5 市售浓硫酸的密度为 $1.84 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$, H_2SO_4 的质量分数为 96%,试计算物质的量浓度 $c(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 为多少 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$?

解 因为 $M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 为 96%, 即 100 g H_2SO_4 溶液中含 H_2SO_4 96 g, 所以

$$\begin{aligned} c(\text{H}_2\text{SO}_4) &= \frac{n(\text{H}_2\text{SO}_4)}{V} = \frac{96/98}{100/(1.84 \times 1\,000)} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \\ &= 18 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \end{aligned}$$

因此,溶液组成量度间的换算,如果涉及“质量”与“体积”间的变换时,必须通过溶液的密度作桥梁进行换算。

体积分数定义为在相同温度和压力时,溶质 B 的体积除以混合物的体积 V ,用符号 φ_B 表示,即

$$\varphi_B \stackrel{\text{def}}{=} V_B / V \quad (1-1-6)$$

式中, V_B 为溶质 B 的体积, V 为溶液的体积。体积分数无单位,可以用小数或百分数表示。例如酒精溶液的体积分数为 0.75 或 75%,意思是 100 mL 酒精溶液中含酒精(溶质)75 mL。

例 1-6 现有体积分数为 95% 的酒精溶液,若要配制 1 L 75% 的消毒酒精,应如何配制?

解 设配制时需量取 95% 的酒精 V , 则据式(1-1-6)得:稀释前溶质的体积为 $95\% \times V \text{ mL}$, 稀释后溶质的体积为 $75\% \times 1\,000 \text{ mL}$

据稀释前、后溶液中溶质的量(毫升数)不变的原则,则有

$$95\% \times V = 75\% \times 1\,000$$

所以

$$V = 789.5 \text{ mL}$$

配制方法是:准确量取体积分数为 95% 的酒精 789.5 mL,加水稀释至 1 000 mL,即可得到 75% 的消毒酒精。

第二节 溶液的渗透压

一、溶液的蒸气压下降

(一)纯溶剂的蒸气压

如果把一杯液体置于密闭的容器中,一定温度下,液面上那些动能较高的分子就会克服液体分子的引力而从液面逸出,扩散到液面上部的空间,形成气相,这一过程称为蒸发(evaporation)。同时,蒸发出来的分子在液面上的空间运动时,其中一部分可能撞到液面并被液体分子吸引到液相中,这一过程称为凝结(condensation)。由于液体在一定温度时的蒸发速率是恒定的,开始时,液面空间尚无蒸气分子,凝结速率为零,蒸发过程占优势,但随着蒸气密度的增加,凝结速率增大,最后,蒸发速率与凝结速率达到相等,液体(液相)和它的蒸气(气相)达到平衡。例如:



式中,l代表液相,g代表气相。这时蒸气分子的密度不再增加,液体的量也不再减少,实际上是单位时间内从气相回到液相的分子数等于从液相进入气相的分子数。我们将一定温度下,液体和它的蒸气处于平衡状态时,蒸气所具有的压力称为该温度下的饱和蒸气压,简称蒸气压(vapor pressure),用符号 p 表示,单位是帕(Pa)或千帕(kPa)。

蒸气压与液体的本性有关,不同的物质有不同的蒸气压。例如在 20 °C 时水的蒸气压为 2.34 kPa,而乙醚却为 57.6 kPa。蒸气压随温度的变化而改变,温度升高,蒸气压增大。固体在不同温度下,也具有相应的蒸气压,但一般都很小,通常将固体直接蒸发为气体的过程称为升华。无论是固体或是液体,蒸气压大的物质称为易挥发性物质,蒸气压小的物质称为难挥发性物质。

(二)溶液的蒸气压下降

在图 1-1 的实验装置中,左球型管装水,右球型管装蔗糖溶液,两管由 U 形水银压力计连接,置于一定温度的恒温浴中。开始时,U 形管两臂的水银液面高度相等,数分钟后,与蔗糖溶液连接的一端水银液面升高,与水连接的一端水银液面降低,U 形管两臂的水银液面出现高度差。实验结果表明,相同温度下,水的蒸气压大于蔗糖溶液的蒸气压。

大量实验证明,在液体中溶解任何一种难挥发性的物质后,液体的蒸气压便下