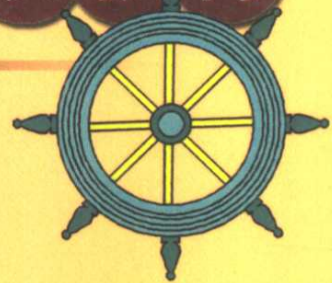




# 面向21世纪

## 全国卫生职业教育系列教改教材

供高职（**3年制**）护理、助产、检验、药剂、卫生保健、  
康复、口腔工艺、影像技术等相关医学专业使用



# 无机化学

薛会君 刘德云 主编

 科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

面向 21 世纪全国卫生职业教育系列教改教材

供高职(3 年制)护理、助产、检验、药剂、卫生保健、康复、口腔  
工艺、影像技术等相关医学专业使用

# 无机化学

薛会君 刘德云 主编

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书为“面向 21 世纪全国卫生职业教育系列教改教材”之一。全书共 7 章,结合医学实践的需要,主要讲述了无机化学的一些基本概念及基本规律。全书内容流畅、图文并茂、构思新颖,是一本很好的教科书。

本书可供高职(3 年制)护理、助产、检验、药剂、卫生保健、康复、口腔工艺、影像技术等相关医学专业学生作为教材使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

无机化学/薛会君,刘德云主编. —北京:科学出版社,2003.8

(面向 21 世纪全国卫生职业教育系列教改教材)

ISBN 7-03-011712-3

I. 无… II. ①薛…②刘… III. 化学:无机化学 - 专业学校 - 教材  
IV. R313

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 051976 号

责任编辑:裴中惠 / 责任校对:宋玲玲

责任印制:刘士平 / 封面设计:卢秋红

版权所有,违者必究,未经本社许可,数字图书馆不得使用

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2003 年 8 月第 一 版 开本:850×1168 1/16

2003 年 8 月第一次印刷 印张:9 1/4

印数:1-7 000 字数:167 000

定价:12.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

# 总 序

雪,纷纷扬扬。

雪日的北京,银装素裹,清纯,古朴,大器,庄重。千里之外的黄山与五岳亦是尽显雾凇、云海的美景。清新的气息,迎新的笑颜,在祖国母亲的怀抱里,幸福欢乐,涌动着无限的活力!

今天,“面向 21 世纪全国卫生职业教育系列教改教材”——一套为指导同学们学、配合老师们教而写的系列教学材料,终于和大家见面了!她是“全国卫生职业教学新模式研究”课题组和教改教材编委会成员学校的老师们同心协力、创造性劳动的成果。

同学,老师,所有国人,感悟着新世纪的祖国将在“三个代表”重要思想的指引下,实现中华民族的伟大复兴,由衷地欢欣鼓舞与振奋。与世界同步,祖国的日新月异更要求每个人“活到老,学到老”。学习的自主性养成、能动性的发挥与学习方法的习得,是现代人形成世界观、人生观、价值观和造就专业能力、方法能力、社会能力,进而探索人类与自身持续发展的基础、动力、源泉。面对学习,每个人都会自觉或不自觉地提出三个必须深思的问题,即为什么学?学什么?怎么学?

所以,编写教材的老师也必须回答三个相应的问题,即为什么写?为谁写?怎么写?

可以回答说,这一套系列教改教材是为我国医疗卫生事业的发展,为培养创新性专业人才而写;为同学们——新世纪推动卫生事业发展的创新性专业人才,自主学习,增长探索、发展、创新的专业能力而写;为同学们容易学、有兴趣学,从而提高学习的效率而写。

为此,教材坚持“贴近学生、贴近社会、贴近岗位”的基本原则,保证教材的科学性、思想性,同时体现实用性、可读性和创新性,即体现社会对卫生职业教育的需求和对专业人才能力的要求,体现与学生的心理取向和知识、方法、情感前提的有效连接,体现开放发展的观念及其专业思维和行为的方式、培养创新意识。

纷飞的雪花把我们的遐想带回千禧年的初春。国务院、教育部深化教育改革推进素质教育,面向 21 世纪教育振兴行动计划和“职业教育课程改革和教材建设规划”的春风,孕育成熟了我们“以社会、专业岗位需求为导向,以学生为中心,培养其综合职业能力”的课程研究构思,形成了从学分制、弹性学制的教学管理改革,建立卫生高职、中职互通的模块化课程体系,进而延伸到课程教学模式与内容开发的系统性课题研究。

这新课程模式的构架,由“平台”和“台阶”性模块系统构成。其中,“平台”

模块是卫生技术人员在不同专业的实践与研究中具有公共的、互通的专业、方法与社会能力内容；而“台阶”模块则是各专业的各自能力成分的组合。其设计源于“系统互动整合医学模式”，她强调系统性和各系统之间的互动整合，是“生物-心理-社会医学模式”的完善、发展与提升。

本套系列教改教材开发于新课程模式的结构系统之中，它包括高职和中职两个层面。其中，中职部分是本课题组成员参与整理加工教育部职成教司“中等职业学校重点建设专业教学指导方案”的工作，深入领会教育部和卫生部的教改精神与思路，依据教育部办公厅[2001]5号文所颁布的正式文件，设计并组织编写的必修、必选、任选课程的教材。

使用本套系列教改教材，应把握其总体特点：

1. 系统性 高职、中职各专业的课程结构形成开放性系统。各“平台”、“台阶”课程教材之间、教材与学生的心理取向及认知情感前提、社会、工作岗位之间，通过“链接”与“接口”的“手拉手”互连，为学生搭建了“通畅、高速、立交”以及开放性的课程学习系统。同学们可利用这一系统自主选择专业与课程，或转换专业、修双专业等，以适合自己的兴趣和经济状况、社会和专业岗位的需求，更好地发展自己。

每本模块教材内部结构坚持科学性、可读性与专业目标有机结合，正文部分保证了模块在课程系统中的定位，链接等非正文部分对课程内容做了必要的引申与扩展。进而，学生的学习和老师的指导能在专业目标系统与各学科知识系统之间准确地互动整合；学生的个体、个体之间的学习主体系统与教师的指导系统之间的教学活动也能积极地互动整合，从而提高教学有效性。

2. 能动性 在学生发展的方向与过程中，老师为学生提供指导与帮助，同学们可以发挥能动性，把社会需要、岗位特点与个人兴趣、家庭的期望和经济承受能力结合起来，自主选择，进而通过“平台”和“台阶”系统化课程的学习，达成目标。

在课程学习的过程中，学校在现代教学观念与理论引导下，按照不同的心理特点与学习方法、学习习惯，引导学生，可以组成不同班次，选择相适合的老师指导。老师根据学生情况与教学内容，活用不同的教学模式、方法与手段，恰当处理课程系统内正文与非正文的联系，以及本课程系统与外系统的联系，抓住重点和难点，具体指导，杜绝“满堂灌”。学生通过容易学、有兴趣的教材指导，主动与同学、老师们互动学习，逐步获得专业能力、方法能力和社会能力，完成学习目标。

需要进一步说明，教材的正文系统是学习信息的主体部分，是每个学生必须认真研读学习的部分，它在内容上尽量把握准外延与内涵，表述上争取深入浅出、变难为易、化繁为简、图文并茂。非正文系统，特别是“链接”和“接口”的创新性设计，起到系统连接与辅助学习作用。“链接”表述的内涵较浅，它不仅是课程系统内部不同课程、专业、教育层次之间的连接组件，还是课程系统向外部伸延，向学生、社会、岗位“贴近”的小模块，它将帮助同学们开阔视野，激活思维，提高兴趣，热爱专业，完善知识系统，拓展能力，培养科学与人文精神结合的

专业素质。对此,初步设计了“历史瞬间”、“岗位召唤”、“案例分析”、“前沿聚焦”、“工具巧用”、“社会视角”、“生活实践”等7个延伸方向的专栏。各教材都将根据课程的目标、特点与学生情况,选择编写适宜内容。“接口”表述的内涵较深,存在于另一门课程之中,用“链接”不足以完成,则以“接口”明确指引学生去学习相关课程内容,它是课程连接的“指路牌”。

我们的研究与改革是一个稳步开放、兼容并蓄、与时俱进的系统化发展过程,故无论是课程体系的设计还是教材的编写,一定存在诸多不妥,甚至错误之处。我们在感谢专家、同行和同学们认可的同时,恳请大家的批评指正,以求不断进步。

值此之际,我们要感谢教育部职成教司、教育部职业教育中心研究所和卫生部科教司、医政司以及中华护理学会领导、专家的指导和鼎力支持;感谢北京市教科院、朝阳职教中心领导、专家的指导与大力支持。作为课题组负责人和本套教材编委会主任,我还要感谢各成员学校领导的积极参与、全面支持与真诚合作;感谢各位主编以高度负责的态度,组织、带领、指导、帮助编者;感谢每一位主编和编者,充分认同教改目标,团结一致,克服了诸多困难,创造性地、出色地完成了编写任务。感谢科学出版社领导、编辑以及有关单位的全力支持与帮助。

“河出伏流,一泻汪洋”。行重于言,我们相信,卫生职业教学的研究、改革与创新,将似涓涓溪流汇江河入东海,推动着我们的事业持续发展,步入世界前列。

纷纷扬扬的雪花,银装素裹的京城,在明媚的阳光下粼粼耀眼,美不胜收。眺望皑皑连绵的燕山,远映着黄山、五岳的祥和俊美。瑞雪丰年,润物泽民。腾飞的祖国,改革创新的事业,永远焕发着活力。

刘晨

2002年12月于北京

# 前 言

《无机化学》是根据 2003 年 4 月在北京召开的“面向 21 世纪全国卫生职业教学新模式研究”课题会议精神,由全国多所高校长期从事医用基础化学教学的教师编写。

本教材的宗旨是提供教学内容的平台性模块,供高职医学相关专业使用。教材的内容由无机化学中与医学关系较为密切的基础理论、基本知识、基本技能组合而成。教学过程设置为三个模块:基础模块、实践模块和选学模块。基础模块和实践模块是必学内容,选学模块可由各院校根据专业、学时、学分等实际情况选择使用。

我们在编写过程中力求突出教材的“思想性、科学性、适用性、实用性和创新性”原则,体现贴近学生、贴近社会、贴近岗位的思路,坚持以学生为中心,教师是指导的教育观念。因此,我们强调内容上不要过专,保证必知、必会内容为基础,符合培养目标和课程教学基本要求。同时,设计了内容精致的链接,拓宽学生的视野,增强学习的趣味性。在突出课程特点的同时,力求做到易学、易懂、适用、实用,以期更好的学习效果。

本教材编写是在全国卫生职业教学新模式研究课题组指导下进行的,并得到了上海职工医学院、山东省聊城职业技术学院、沈阳医学院护理系、江西省井冈山高等医学专科学校、湖北省三峡大学护理学院的大力支持,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,编写时间仓促,本教材会有不少欠缺之处,敬希批评指正。

编 者  
2003 年 6 月

# 目 录

第1章 溶液和溶液的渗透压 .....	1
第1节 溶液的浓度 .....	1
一、物质的量 .....	2
二、溶液浓度的表示方法 .....	3
三、浓度的相互换算 .....	4
第2节 溶液的渗透压 .....	6
一、渗透现象和渗透压 .....	6
二、渗透压与浓度、温度的关系 .....	7
三、渗透压在医学上的意义 .....	8
第2章 化学反应速率与化学平衡 .....	13
第1节 化学反应速率 .....	13
一、化学反应速率的表示方法 .....	13
二、反应速率理论简介 .....	14
三、影响化学反应速率的因素 .....	16
第2节 化学平衡 .....	19
一、可逆反应与化学平衡 .....	19
二、平衡常数 .....	20
三、影响化学平衡的因素 .....	22
第3章 电解质溶液 .....	26
第1节 酸碱质子理论 .....	27
一、酸碱的定义 .....	27
二、酸碱反应的实质 .....	28
三、酸碱的强度 .....	29
第2节 水溶液的酸碱性 .....	29
一、水的质子自递平衡 .....	29
二、水溶液的酸碱性 .....	30
第3节 弱电解质溶液 .....	31
一、弱电解质在水溶液中的解离 .....	31
二、溶液 pH 值的计算 .....	34
第4节 难溶强电解质的沉淀溶解平衡 .....	37
一、溶度积 .....	37
二、沉淀的生成与溶解 .....	40
第4章 缓冲溶液 .....	45
第1节 缓冲溶液的组成及其作用 .....	45
一、缓冲溶液的概念 .....	45
二、缓冲溶液的组成 .....	46

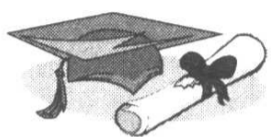


三、缓冲作用原理 .....	46
第2节 缓冲溶液的 pH 值 .....	47
一、缓冲溶液 pH 值的计算公式 .....	47
二、缓冲溶液 pH 值的计算示例 .....	48
第3节 缓冲容量与缓冲溶液的配制 .....	50
一、缓冲容量 .....	50
二、缓冲溶液的配制 .....	53
第4节 缓冲溶液在医学上的意义 .....	55
<b>第5章 氧化还原与电极电势 .....</b>	<b>59</b>
第1节 氧化还原反应 .....	60
一、氧化数 .....	60
二、氧化还原反应 .....	60
三、氧化还原反应的共轭关系 .....	61
第2节 原电池 .....	62
一、原电池的组成 .....	62
二、原电池的符号 .....	63
三、原电池的电池电动势 .....	64
第3节 电极电势 .....	64
一、电极电势的产生 .....	64
二、电极电势的测定 .....	65
三、电极电势的计算 .....	67
第4节 电极电势的应用 .....	69
一、比较氧化剂和还原剂的相对强弱 .....	69
二、判断氧化还原反应进行的方向 .....	70
三、判断氧化还原反应进行的程度 .....	71
第5节 电势法测定溶液的 pH 值 .....	72
一、电势法测定 pH 值的基本原理 .....	73
二、饱和甘汞电极和玻璃电极 .....	73
三、电势法测定溶液 pH 值的方法 .....	74
<b>第6章 配位化合物 .....</b>	<b>78</b>
第1节 配合物的基本概念 .....	78
一、配合物的定义 .....	78
二、配合物的组成 .....	79
三、配合物的命名 .....	80
第2节 配位平衡 .....	81
一、配位平衡常数 .....	81
二、配位平衡的移动 .....	82
第3节 螯合物 .....	84
一、螯合物的概念 .....	84
二、螯合剂 .....	85
第4节 配合物在医学上的意义 .....	85
<b>第7章 胶体溶液 .....</b>	<b>89</b>
第1节 分散系 .....	89

一、分散系的概念 .....	89
二、分散系的分类 .....	89
第2节 溶胶 .....	90
一、溶胶的性质 .....	90
二、溶胶的结构 .....	93
三、溶胶的稳定性和聚沉 .....	94
第3节 高分子溶液 .....	95
一、高分子化合物的概念 .....	95
二、高分子溶液的特性 .....	95
三、高分子溶液对溶胶的保护作用 .....	96
第4节 凝胶 .....	96
一、凝胶的形成 .....	96
二、凝胶的几种性质 .....	97
三、凝胶的生理意义 .....	98
无机化学实验须知 .....	100
实验一 化学实验基本操作 .....	103
实验二 缓冲溶液的配制和性质 .....	109
实验三 用 pH 计测定溶液的 pH 值 .....	112
实验四 氧化还原反应与电极电势 .....	115
实验五 配位化合物的生成与性质 .....	118
实验六 溶胶的制备和性质 .....	121
部分习题答案 .....	124
无机化学(3 年制)教学基本要求 .....	125
元素周期表 .....	131

# 第 1 章

## 溶液和溶液的渗透压



### 学习目标

1. 能说出质量浓度、物质的量浓度、渗透现象、渗透压等名词含义
2. 简述渗透现象的产生条件,溶液的渗透压与溶液浓度、温度之间的关系
3. 能熟练地进行有关浓度、溶液的渗透压的化学计算;会比较溶液渗透压的大小,判断渗透方向
4. 知道渗透压在医学上的意义

一种物质以分子、原子或离子状态分散于另一种物质中所构成的均匀而稳定的分散体系叫做溶液(solution)。溶液可分为固态溶液(如合金)、液态溶液(如盐水)、气态溶液(如空气)。我们通常所讲的溶液是指液态溶液。

溶液不仅在日常生产、生活、科学研究中具有重要作用,而且与医学有着密切联系。人体内许多物质(如血液、细胞液及各种腺体的分泌液等)都是以溶液的形式存在,体内的许多化学反应是在溶液中进行。人体的体液不仅有一定的成分,而且还有一定的分布和一定的容量,这对于维持人体正常生理功能有着至关重要的作用。临床上给病人大量补液时要特别注意溶液的浓度,如补液的浓度不当,过浓或过稀都将产生不良后果,甚至造成死亡,这也和溶液的渗透压有密切关系。因此,掌握有关溶液的浓度和溶液的渗透压的基本知识是学习医学科学所必需的。

### 第 1 节 溶液的浓度

溶质溶解在溶剂中形成溶液。溶液的某些性质(如溶液的颜色、导电性等)决定于溶质的本性,另外一些性质(如溶液的渗透压等)决定于溶液中所含溶质粒子的浓度,而与溶质本身的性质无关。因此,溶液的浓度是溶液的一个重要特征。

国际单位制的 7 个基本物理量

量的名称	单位名称	单位符号
长度	米	m
质量	千克	kg
时间	秒	s
电流	安[培]	A
热力学温度	开[尔文]	K
物质的量	摩[尔]	mol
发光强度	坎[德拉]	cd

链接

### 创立分子学说的阿伏伽德罗

1811年,意大利化学家阿伏伽德罗(Amedeo Avogadro, 1776~1856)在盖·吕萨克的气体反应体积筒比定律基础上进行合理推论,把“分子”概念引入道尔顿(英国)原子论,提出分子学说:①无论是化合物还是单质,在不断被分割的过程中都有一个分子阶段,分子是有一定特性的物质组成的最小单位。②单质的分子是由同种元素的原子组成的,化合物的分子则由不同元素的原子组成;化学变化是不同物质的分子间原子的重新组合。③在同温同压下,同体积的气体,无论是单质还是化合物,都含有同样数目的分子,即后来确立的阿伏伽德罗定律。

当时由于实验验证条件的限制,以及一些化学权威人士的否定,分子学说没有得到化学、物理学界的承认和重视,被称为分子假说。大约半个世纪后,假说得到了科学的验证,但阿伏伽德罗已不在人世。在验证阿伏伽德罗定律时发现:在 0℃、760mmHg 时,1mol 任何气体的体积都接近于 22.4L。由此换算出 1mol 任何物质都含有  $6.02205 \times 10^{23}$  个分子,这一常数被人们命名为阿伏伽德罗常数,以纪念这位杰出的科学家。

链接

## 一、物质的量

物质的量是国际单位制中 7 个基本物理量之一。它是指给定的某一系统中,所包含某种特定粒子(基本单元)的数量,其单位为摩尔,符号为 mol。若一系统中所包含的某基本单元数与 0.012kg  $^{12}\text{C}$  的原子数目相等,则称该系统的物质的量为 1mol。0.012kg  $^{12}\text{C}$  的原子数目等于阿伏伽德罗常数(约为  $6.02 \times 10^{23}$ )。

基本单元可以是分子、原子、离子及其他粒子或这些粒子的特定组合,所以在使用单位摩尔时,必须注明基本单元。摩尔是描述基本单元的数量单位,而不是质量单位。

1mol 物质的质量称为物质的摩尔质量,用符号  $M$  表示,其单位用  $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$  表示。任何元素原子的摩尔质量,数值上等于该原子的原子量,如 O 的摩尔质量是  $16\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ;任何分子的摩尔质量,数值上等于该分子的相对分子质量,如  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  的摩尔质量为  $12 \times 6 + 1 \times 12 + 16 \times 6 = 180\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ;对于带正电荷或负电荷的离子的摩尔质量等于构成这个离子的各原子摩尔质量的代数和(因为电子的质量远小于原子的质量,离子中失去或得到的电子对于原子质量的影响可忽略不计),如  $\text{SO}_4^{2-}$  的摩尔质量为  $32 + 16 \times 4 = 96\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

物质的量( $n$ )、物质的质量( $m$ )和摩尔质量( $M$ )之间的关系可用下式表示:

$$n = \frac{m}{M} \quad (1-1)$$

[例 1-1] 326mg  $\text{Na}^+$  的物质的量是多少?

解:  $\text{Na}^+$  的摩尔质量为  $23\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ,根据式(1-1), $\text{Na}^+$  的物质的量为:

$$n = \frac{m}{M} = \frac{0.326}{23} = 0.014(\text{mol})$$

## 二、溶液浓度的表示方法

一定量的溶液或溶剂中所含溶质的量叫做溶液的浓度。同一种溶液,根据不同的需要可选择不同的浓度表示方法。溶液浓度的表示方法有很多,大体可分为两大类:一类是用溶质与溶剂(或溶液)的相对量(这里所指的量可以是质量或物质的量)表示,如质量分数、摩尔分数、质量摩尔浓度等;另一类是用一定体积溶液中所含溶质的量表示,如体积分数、质量浓度、物质的量浓度等。现将医学上常用的几种浓度表示方法作简单介绍。

1. 质量分数 物质 B 的质量分数 (mass fraction) 用符号  $w_B$  表示,它的定义为物质 B 的质量  $m_B$  除以溶液的总质量  $m$ 。

$$w_B = \frac{m_B}{m} \quad (1-2)$$

质量分数是一个无单位的量,用小数表示,也可以用百分数表示。例如,市售的浓盐酸中氯化氢的质量分数为 0.37 或 37%。

[例 1-2] 将 5.0g NaCl 溶于 500g 水配成溶液,计算此溶液中 NaCl 的质量分数。

解:  $\because m_B = 5.0\text{g}, m = 500 + 5.0 = 505\text{g}$

$$\therefore w_B = \frac{m_B}{m} = \frac{5.0}{505} = 0.0099 \text{ (或 } 0.99\%)$$

在实际工作中,对于很稀的水溶液,常近似地将 100ml 溶液中所含溶质的克数视为质量分数。因为很稀的水溶液的密度可近似为  $1.0\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ , 100ml 此种溶液的质量近似为 100g。

2. 体积分数 物质 B 的体积分数用  $\varphi_B$  表示,它的定义为物质 B 的体积  $V_B$  除以溶液的体积  $V$ 。

$$\varphi_B = \frac{V_B}{V}$$

体积分数也是一个无单位的量,同样用小数或百分数表示。

[例 1-3] 消毒乙醇的体积分数  $\varphi_{B1} = 0.75$ , 现在要配制 500ml 消毒乙醇,需要  $\varphi_{B2} = 0.95$  的乙醇溶液多少毫升?

解: 根据式(1-3), 需  $\varphi_{B2} = 0.95$  的乙醇的体积为:

$$V_2 = \frac{\varphi_{B1} V_1}{\varphi_{B2}} = \frac{0.75 \times 500}{0.95} = 395(\text{ml})$$

3. 质量浓度 物质 B 的质量浓度 (mass concentration) 用符号  $\rho_B$  表示,它的定义为物质 B 的质量  $m_B$  除以溶液的体积  $V$ 。

$$\rho_B = \frac{m_B}{V} \quad (1-4)$$

质量浓度的 SI(国际单位制)单位是  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , 医学上常用单位是  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  和  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。在实际工作中可根据不同情况采用不同的单位。

[例 1-4] 100ml  $C_3H_5O_3Na$ (乳酸钠)注射液中含 11.2g  $C_3H_5O_3Na$ , 计算该注射液的质量浓度。

解: 根据式(1-4), 注射液的质量浓度为

$$\rho_{(C_3H_5O_3Na)} = \frac{m_{(C_3H_5O_3Na)}}{V} = \frac{11.2}{0.100} = 112(g \cdot L^{-1})$$

### 溶液的浓度在医学上的使用

世界卫生组织建议: 医学上表示液体的组成时, 凡是相对分子质量  $M$  已知的物质, 均应使用物质的量浓度。并在注射液的标签上同时写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  $\rho_{(NaCl)} = 9g \cdot L^{-1}$ ,  $C_{(NaCl)} = 0.15mol \cdot L^{-1}$ ; 对于体液中少数的相对分子质量尚未准确测定的物质可以暂时使用质量浓度。例如, 免疫球蛋白 G(IgG) 的质量浓度的正常值范围为  $7.60 \sim 16.60g \cdot L^{-1}$ , 免疫球蛋白 D(IgD) 含量的正常范围为  $30 \sim 50mg \cdot L^{-1}$ 。

链接

4. 物质的量浓度 物质 B 的物质的量浓度 (amount of substance concentration) 用符号  $C_B$  表示, 它的定义为物质 B 的物质的量  $n_B$  除以溶液体积  $V$ 。

$$C_B = \frac{n_B}{V} \quad (1-5)$$

浓度即物质的量浓度的简称。物质的量浓度的 SI 单位是  $mol \cdot m^{-3}$ , 但立方米单位太大, 不大实用, 常用单位是  $mol \cdot L^{-1}$  和  $mmol \cdot L^{-1}$ 。在使用物质的量浓度时, 必须注明物质的基本单元。

[例 1-5] 100ml 正常人的血清中含 10mg  $Ca^{2+}$ , 计算血清中  $Ca^{2+}$  的物质的量浓度。

解:  $Ca^{2+}$  的摩尔质量  $M = 40g \cdot mol^{-1}$

$$Ca^{2+} \text{ 的物质的量 } n = \frac{m}{M} = \frac{0.010}{40} = 2.5 \times 10^{-4}(\text{mol})$$

$$C_{(Ca^{2+})} = \frac{n}{V} = \frac{2.5 \times 10^{-4}}{0.1} = 2.5 \times 10^{-3}(\text{mol} \cdot L^{-1})$$

## 三、浓度的相互换算

1. 质量浓度与物质的量浓度之间的换算 物质 B 的质量浓度  $\rho_B$  与物质 B 的物质的量浓度  $C_B$  之间的关系为:

$$\rho_B = C_B \times M_B \quad (1-6)$$

[例 1-6] 100ml 碳酸氢钠溶液中含 1.25g 碳酸氢钠, 计算该溶液的质量浓度和物质的量浓度。

解: 根据式(1-4)质量浓度为:

$$\rho_{(NaHCO_3)} = \frac{m_{(NaHCO_3)}}{V} = \frac{1.25}{0.100} = 12.5(g \cdot L^{-1})$$

根据式(1-6), 物质的量浓度为:

$$C_{(NaHCO_3)} = \frac{\rho_{(NaHCO_3)}}{M_{(NaHCO_3)}} = \frac{12.5}{84} = 0.15(\text{mol} \cdot L^{-1})$$

2. 质量分数与物质的量浓度之间的换算 质量分数是以质量表示溶液的量,而物质的量浓度是以体积表示溶液的量。二者在换算时需要知道溶液的密度,因为密度可以给出溶液的质量和体积的关系。

已知某一溶液物质 B 的质量分数为  $w_B$ , 物质 B 物质的量浓度为  $C_B \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 溶液的密度为  $d \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 物质 B 的摩尔质量为  $M_B$ 。则

$$V(\text{L}) \text{ 溶液的质量为: } m = 1000 \times d \cdot V(\text{g})$$

$$\text{溶质 B 的质量为: } m_B = w_B \cdot m = 1000 \times w_B \cdot d \cdot V(\text{g})$$

$$\text{物质 B 的物质的量为: } n_B = \frac{m_B}{M_B} = \frac{1000 \times w_B \cdot d \cdot V}{M_B}$$

物质 B 的物质的量浓度为:

$$C_B = \frac{n_B}{V} = \frac{1000 \times w_B \cdot d}{M_B} \quad (1-7)$$

[例 1-7] 98%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液的  $\text{H}_2\text{SO}_4$  的物质的量浓度是多少? (密度为  $1.84 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$ )

解: 已知  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $w_B = 0.98$ ,  $d = 1.84 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $M_B = 98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

代入式(1-7)得:

$$C_B = \frac{1000 \times w_B \cdot d}{M_B} = \frac{1000 \times 0.98 \times 1.84}{98} = 18.4 (\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$$

3. 溶液的稀释 在实际工作中,常常用一种浓溶液( $C_1$ )加溶剂稀释配制稀溶液( $C_2$ )。在稀释时,溶液的体积由  $V_1$  变至  $V_2$ ,但溶质的物质的量( $n = C \cdot V$ )并没有改变,因而有如下关系:

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2 \quad (1-8)$$

式(1-8)仅适用于溶液的稀释,不能用于化学反应,因为化学反应不完全是等物质量作用的。在利用式(1-8)计算时,所用浓度必须是与体积相关的(用一定体积溶液中所含溶质的量表示的)浓度,质量分数则不适用。还应注意等式两边的浓度及体积的单位要一致。

[例 1-8] 配制  $1000 \text{ ml } 0.50 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ HCl}$  溶液,需要 37% 的浓盐酸多少毫升? (浓盐酸的密度为  $1.19 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$ )

解: 已知  $C_2 = 0.50 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $V_2 = 1000 \text{ ml}$ ,  $w_B = 0.37$ ,  $M_B = 36.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ,  $d = 1.19 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$

代入式(1-7)求出浓盐酸的物质的量浓度:

$$C_1 = \frac{1000 \times w_B \cdot d}{M_B} = \frac{1000 \times 0.37 \times 1.19}{36.5} = 12 (\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$$

由式(1-8)得:

$$V_1 = \frac{C_2 \cdot V_2}{C_1} = \frac{0.50 \times 1000}{12} = 42 (\text{ml})$$

取  $42 \text{ ml}$  37% 浓盐酸加水稀释至  $1000 \text{ ml}$  即为所要配制的  $0.50 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ HCl}$  溶液。

## 第2节 溶液的渗透压

为什么人在淡水池中游泳时间过长会感觉眼睛胀痛,而在大海中游泳就没有这种感觉?为什么失水发蔫的花草浇水后又生机勃勃?为什么淡水鱼与海水鱼互换环境不能生存?为什么给病人大量补液时要用  $9.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  NaCl 或  $50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  葡萄糖溶液?要回答这类问题,需要了解渗透现象和渗透压的基本知识。

### 一、渗透现象和渗透压

在一杯蔗糖溶液的液面上小心地加入一层清水,避免任何机械振动。静止一段时间后,由于分子本身的热运动,蔗糖分子向水层扩散,水分子向蔗糖溶液扩散,最终成为浓度均一的蔗糖溶液。任何纯溶剂与溶液或两种不同浓度的溶液相互接触时,都会发生溶质分子和溶剂分子双向扩散现象。

如果用半透膜将蔗糖溶液和纯水隔开,情况就不同了。半透膜是一种可以允许某些物质透过,而不允许另一些物质透过的多孔性薄膜。生物体内的细胞膜、毛细血管壁、膀胱膜、硫酸纸、人造羊皮纸、火棉胶膜等都是半透膜。每一种半透膜的通透性不同,有的半透膜只允许水分子透过而不允许溶质分子透过;而有些半透膜除允许水分子透过外,还允许小分子化合物及电解质离子透过,但不允许大分子化合物透过。

用一种只允许水分子透过而不允许蔗糖分子透过的半透膜(如人造亚铁氰化铜薄膜)将蔗糖溶液和纯水隔开,并使膜两侧液面高度相等[如图 1-1(a)所示]。过一段时间后,蔗糖溶液的液面上升,而纯水的液面下降[如图 1-1(b)所示]。蔗糖溶液液面上升,意味着水分子透过半透膜从纯水进入了蔗糖溶液。如果用半透膜将两种不同浓度的蔗糖溶液隔开,也会产生类似现象,稀溶液中的水分子会透过半透膜进入到浓溶液而使浓溶液液面升高。

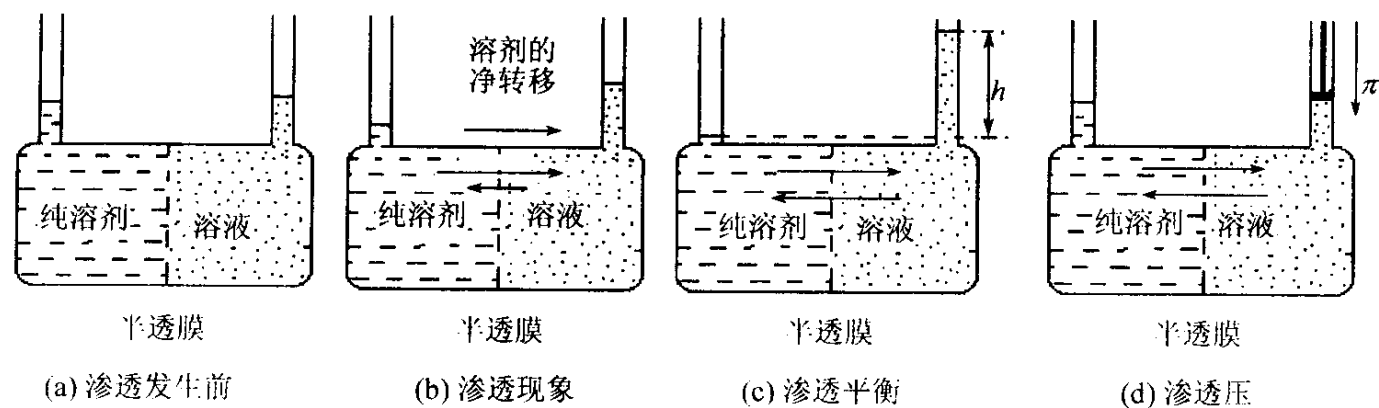


图 1-1 渗透现象和渗透压

我们把这种溶剂分子透过半透膜由纯溶剂进入溶液或由稀溶液进入浓溶液的现象叫渗透现象。由此可见,产生渗透现象应具备两个条件:一是有半透膜存在;二是半透膜两侧溶液的溶质粒子浓度不相等。渗透时,水或是从溶剂



向溶液、或是从稀溶液向浓溶液渗透,亦即渗透的方向总是趋向于减小两侧溶液的溶质粒子浓度差。

渗透现象产生的原因是由于蔗糖分子不能透过半透膜,而水分子可以透过半透膜向膜两侧运动。由于膜两侧单位体积溶液中水分子数目不同,单位体积纯水中所含水分子的数目比蔗糖溶液中多,因此相同时间内,从纯水进入蔗糖溶液的水分子数多于从蔗糖溶液进入纯水的水分子数,结果蔗糖溶液的体积逐渐增大,液面不断上升,而相应地,纯水的液面下降。随着蔗糖溶液液面的上升,膜两侧溶液液面差逐渐加大,溶液静水压逐渐增加,使水分子从蔗糖溶液进入纯水的速率不断加快。当液面上升到一定高度时,水分子向两个方向渗透的速率相等,蔗糖与纯水的液面不再发生变化,此时达到渗透平衡状态[如图 1-1(c)所示]。

为了阻止渗透现象发生,就必须在溶液液面上施加一额外压力。这种恰能阻止纯溶剂与溶液间渗透现象的发生而需施加在溶液液面上的压力称为该溶液的渗透压[如图 1-1(d)所示]。

### 反渗透及其应用

反渗透是在浓溶液一边加上比自然渗透压更高的压力,将浓溶液中的溶剂(水)压到半透膜的另一边稀溶液中。这是和自然界正常渗透过程相反的,故称为反渗透。反渗透技术通常用于海水、苦咸水的淡化,饮用水的净化,高纯水的生产,废水处理,以及食品、医药工业、化学工业的提纯、浓缩、分离等方面。

链  
接

## 二、渗透压与浓度、温度的关系

实验证明:在一定温度下,溶液的渗透压与其浓度成正比;在一定浓度下,溶液的渗透压与热力学温度成正比。1886年,荷兰物理化学家范托夫(van't Hoff)综合上述实验结果提出渗透压与浓度、温度的关系:

$$\pi = CRT \quad (1-9)$$

式中  $\pi$  为溶液的渗透压(kPa)

$C$  为溶液的物质的量浓度( $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )

$T$  为热力学温度( $T = 273 + t^\circ\text{C}$ ,单位为 K)

$R$  为气体常数即  $8.31\text{kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

式(1-9)称为范托夫公式或范托夫定律。它表明:一定温度下,稀溶液的渗透压只与单位体积溶液内溶质的颗粒数目成正比,而与溶质的本性无关。像蛋白质这样的大分子,当单位体积内分子数目与某种小分子溶液一样时,它们的渗透压是相等的,即渗透压与溶质颗粒的种类、大小无关。

### 牧场化学家

范托夫(Jacobus Henricus van't Hoff, 1852~1911), 荷兰物理化学家。1874年,范托夫提出了碳原子的正四面体理论,把分子结构从平面发展为立体,为立体化学奠定了基础。1877年,范托夫从研究有机化学转而研究刚刚得到公认的新领域——物理化学。1901年,范托夫由于在反应速度、化学平衡和渗透压方面的研究,成为第一位诺贝尔化学奖获得者。

生活在他周围的人们直到有一天看到报纸上刊登出“范托夫荣获首届诺贝尔化学奖”和他的素描像,才知道每天早上赶着马车为大家送鲜奶的牧场主人竟是著名的化学家,而且还获得了首届诺贝尔奖!最终,送奶的范托夫和化学家范托夫被人们合并传成了“牧场化学家”。

链  
接