



总序

普通高等教育药学专业

“十五”规划教材

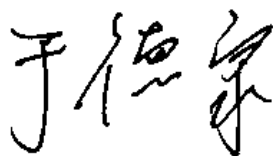
近年来,我国高等教育事业快速发展,取得了举世瞩目的成就。教育部实施了高等学校教学质量与教学改革工程,下发了《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》,提倡和鼓励学术水平高、教学经验丰富的教师,根据教学需要编写适应不同层次、不同类型院校,具有不同风格和特点的高质量教材。

当前,各类高校都相继开办了药学专业,高等院校的药学教育发展迅速,办学规模和办学层次逐年增加,市场对药学专业的学生需求逐年递增,学生就业率高,形成了高等院校一个新的亮点。然而,传统的高等院校药学专业,其课程体系、教学内容与新的教学模式之间的矛盾也日益突出。为了解决这个问题,配合高等院校药学专业建设的需要,更好地顺应社会发展对新一代药学人才的需求,进一步提高教学质量,加强药学专业的学科建设和课程建设,加快教材改革,适应教学改革的需要,更好地发展药学专业的本科教育,当是恭逢其时的事。2005年,在郑州大学出版社、郑州大学药学院的牵头组织下,部分参编院校对国内药学专业的培养目标、培养模式、课程体系、教学内容和教学大纲等进行了广泛而深入的调研,分析了国内药学专业相关教材的现状,此举得到了湖北、山东、安徽、陕西、江西、黑龙江、吉林、浙江、江苏、福建、河南、重庆、广西等省市、自治区三十多所院校的积极响应,也得到了国内一大批药学教育专家的支持。为了集思广益,保证高规格、高质量地出炉这套教材,紧扣当前药学专业本科教学的实际,组织召开了高等院校药学专业教学研讨会暨教材编写会,无论是大的环节,还是小的细节,无不经过与会专家和教授的科学规划、认真研讨和商榷,最终确定了这套普通高等教育药学专

业“十一五”规划教材编写的指导思想、体例和规范。每本教材的主编,都是学术水平高、教学经验丰富的一线教师,这就保证了这套新教材的编写质量。

可以说,这套教材的出版,为促进我国药学专业本、专科教育质量的不断提高,贡献了一份绵薄之力,很好地顺应了当前高等院校药学教育迅速发展的新趋势,也必将会对我国高等院校药学专业教育产生深远而积极的影响。同时也希望使用教材的师生多提意见和建议,以便及时修订、不断完善。

中国工程院院士
中国协和医科大学教授



2006年9月



前言

普通高等教育药学专业

“十一·五”规划教材

本书是普通高等教育药学专业“十一·五”规划系列教材之一。该书编写大纲,是在充分考虑了教学改革和培养面向 21 世纪高素质人才的需要并根据多年的教学经验和体会拟订而成的。在本书的编写过程中,主要考虑了以下几点。

1. 在内容的选材和组合方面,以高等学校药学专业无机化学教学大纲为依据,注意与中学化学内容的衔接,尽可能做到内容的基础性、科学性和先进性。在编写时力求保持该课程内容的系统性和完整性,并尽可能做到循序渐进,深入浅出,语言流畅,通俗易懂,便于自学。

2. 加强理论与实际的联系。在保证无机化学基本知识、基本原理的基础上,紧密结合和体现无机化学与药学的联系,增强应用意识。

3. 本书在量和单位方面,采用了有关国家标准。

4. 每章内容附有学习要点、思考题和习题,以利于学生系统掌握和巩固所学的知识。同时书末附有部分习题的参考答案。

全书共分 14 章,前 10 章主要介绍溶液、化学热力学基础、化学反应的一般原理和溶液中的化学反应规律以及近代物质结构理论等;后 4 章是在结构理论的基础上,分区介绍各族元素的基本知识和主要化合物的性质及变化规律。

参加本书编写的有河南工业大学、河南大学、济宁医学院、咸宁医学院等院校的教师。姚素梅编写第 1、4 章,刘捷编写第 2、14 章,周长智编写第 3 章及第 9 章部分内容,孙勤枢编写第 5 章及第 12 章部分内容,司学芝编写第 6 章及第 7 章部分内容,胡乐乾编写第 7 章部分内容、第 9 章部分内容及书后习题参考答案,展海军

编写第 8、11 章,刘君编写第 10 章,孔凡栋编写第 12 章部分内容,胡春弟编写第 13 章。书后附录由刘捷负责,全书最后由司学芝统稿。

在本书的编写过程中,参考了大量的高等学校教材和有关著作,得到了许多老师和同行的大力帮助和支持,在此向有关作者、老师和同行表示感谢!在对书稿的修改过程中,郑州大学出版社的编辑为本书的出版作了大量工作,提出了许多宝贵意见,对书稿质量起了很大作用。在此一并致以衷心的感谢!

限于编者水平,本书虽经多次修改,仍难免有错误和不当之处,敬请专家、同行和使用该教材的同学们不吝赐教和提出宝贵意见。

编 者
2006 年 7 月



目录

普通高等教育药学专业

“十一·五”规划教材

第一章 溶液	1
第一节 溶液的一般概念	1
一、分散系	1
二、溶解过程	2
第二节 溶解度和溶液的常用组成标度	3
一、溶解度	3
二、溶液浓度的表示方法	3
第三节 非电解质稀溶液的依数性	5
一、溶液的蒸气压下降	5
二、溶液的沸点升高	8
三、溶液的凝固点降低	9
四、溶液的渗透压	10
第四节 电解质溶液	15
一、强电解质溶液理论	16
二、活度和活度系数	16
三、电解质稀溶液的依数性	17
第二章 化学热力学基础	21
第一节 热力学的基本概念及术语	22
一、体系、环境和相	22
二、状态和状态函数	23
三、过程和途径	23
第二节 热力学第一定律	23
一、热和功	23
二、热力学能	24
三、热力学第一定律	24

2 无机化学

四、焓和焓变	25
第三节 化学反应热效应	26
一、恒容反应热和恒压反应热	26
二、化学计量数和反应进度	27
三、热力学标准状态和热化学方程式	29
四、赫斯定律	30
五、化学反应标准摩尔焓变的计算	31
第四节 化学反应的方向	33
一、化学反应的自发性	33
二、焓变与化学反应的方向	33
三、熵变与化学反应的方向	34
四、吉布斯自由能变与化学反应的方向	35
第五节 摩尔吉布斯自由能变的计算	37
一、标准摩尔吉布斯自由能变的计算	37
二、其他温度时标准摩尔吉布斯自由能变的计算	38
三、非标准态下摩尔吉布斯自由能变的计算	39
第三章 化学反应的速率和限度	46
第一节 化学反应速率	47
一、化学反应速率的定义及表示方法	47
二、化学反应速率理论	48
三、影响化学反应速率的因素	51
第二节 化学平衡	55
一、可逆反应与化学平衡	55
二、化学平衡常数	56
三、化学平衡的有关计算	58
第三节 化学平衡的移动	61
一、浓度对化学平衡的影响	61
二、压力对化学平衡的影响	62
三、温度对化学平衡的影响	64
四、催化剂和化学平衡	66
第四节 化学反应速率和化学平衡原理的综合应用	66
第四章 酸碱电离平衡	73
第一节 酸碱理论概述	74
一、酸碱电离理论	74
二、酸碱质子理论	74
三、酸碱电子理论	76
第二节 水的解离反应和溶液的酸碱性	77
一、水的离子积	77

二、溶液的酸碱性和 pH	78
第三节 弱酸、弱碱的解离平衡	79
一、一元弱酸(弱碱)的解离平衡和解离常数	79
二、一元弱酸(弱碱)溶液中相关离子浓度的计算	80
三、解离度和稀释定律	81
四、弱酸(弱碱)解离平衡的移动	82
五、多元弱酸(弱碱)的解离平衡及相关计算	83
第四节 缓冲溶液	84
一、缓冲溶液的组成及作用机理	84
二、缓冲溶液的 pH 计算	86
三、缓冲溶液的缓冲容量和缓冲范围	87
四、缓冲溶液的选择和配制	89
五、缓冲溶液在医学上的意义	92
第五节 盐类的水解反应	93
一、水解反应和水解常数	93
二、分步水解	95
三、盐溶液 pH 的近似计算	95
四、影响盐类水解的因素	96
第五章 难溶电解质的沉淀 - 溶解平衡	101
第一节 难溶电解质的溶解度和溶度积	102
一、溶度积常数	102
二、溶度积和溶解度的相互换算	104
第二节 沉淀的生成和溶解	105
一、溶度积规则	105
二、沉淀的生成	105
三、沉淀的溶解	106
四、沉淀 - 溶解平衡的移动	107
第三节 分步沉淀和沉淀的转化	110
一、分步沉淀	110
二、沉淀的转化	111
第四节 沉淀 - 溶解平衡在医药学中的应用	112
一、在药物生产上的应用	112
二、在药品质量控制上的应用	113
第六章 氧化还原反应	115
第一节 氧化还原反应的基本概念	116
一、氧化值	116
二、常用氧化剂和还原剂	117
三、氧化还原电对	117

4 无机化学

四、氧化还原反应方程式的配平	118
第二节 电极电势	121
一、原电池	121
二、电极电势的产生	123
三、电极电势的测定	123
四、影响电极电势的因素	125
第三节 电极电势的应用	128
一、比较氧化剂和还原剂的相对强弱	128
二、判断原电池的正、负极及计算原电池的电动势	129
三、判断氧化还原反应进行的方向和次序	130
四、判断氧化还原反应进行的限度	131
第四节 元素电极电势图及其应用	133
第七章 原子结构和元素周期系	140
第一节 玻尔的原子模型	141
一、氢原子光谱	141
二、玻尔理论	142
第二节 量子力学的原子模型	143
一、微观粒子的特性	143
二、核外电子运动状态的描述	146
第三节 多电子原子结构和元素周期系	153
一、鲍林的原子轨道能级图	153
二、屏蔽效应和钻穿效应	154
三、基态原子核外电子排布的一般原则	156
四、基态原子中核外电子的分布	157
五、原子的电子层结构和元素周期系	161
第四节 元素性质的周期性	163
一、原子半径	163
二、元素的电离能	165
三、电子亲和能	167
四、电负性	168
五、元素的氧化值	169
第八章 化学键和分子结构	174
第一节 离子键	175
一、离子键的形成和特征	175
二、离子的特征	176
第二节 现代价键理论	178
一、共价键的形成与本质	178
二、价键理论的基本要点	179

三、共价键的特征	179
四、共价键的类型	180
五、配位共价键	181
六、键的极性	182
七、共价键参数	182
第三节 杂化轨道理论	183
一、轨道杂化理论的基本要点	183
二、杂化类型与分子几何构型	184
第四节 价层电子对互斥理论	187
一、价层电子对互斥理论的基本要点	187
二、共价分子结构的判断	188
三、价层电子对互斥理论的应用实例	190
第五节 分子轨道理论	191
一、分子轨道理论的基本要点	192
二、分子轨道的形成	192
三、分子轨道的能级	193
四、分子轨道理论的应用	195
第六节 分子间作用力和氢键	196
一、分子的极性和变形性	196
二、分子间作用力	199
三、氢键	200
第九章 晶体结构	205
第一节 晶体与非晶体	206
一、晶体的特征	206
二、晶体的内部结构	207
三、液晶	207
第二节 离子晶体	208
一、离子晶体的特征和性质	208
二、离子晶体中最简单的结构类型	209
三、离子晶体的离子半径比	209
四、离子晶体的晶格能	211
第三节 原子晶体、分子晶体和金属晶体	212
一、原子晶体	212
二、分子晶体	212
三、金属晶体	213
第四节 离子极化	214
一、离子极化的概念	214
二、离子极化作用对物质结构和性质的影响	216

第十章 配位化合物	220
第一节 配合物的基本概念	222
一、配合物的定义及组成	222
二、配合物化学式的书写原则及命名	225
三、配合物的分类	227
第二节 配合物的空间结构和异构现象	228
一、配合物的空间结构	228
二、配合物的异构现象	229
第三节 配合物的化学键理论	230
一、价键理论	230
二、晶体场理论	233
第四节 配合物在水溶液中的稳定性	241
一、配离子的解离平衡及标准解离平衡常数	241
二、配离子的标准稳定常数及其应用	241
第五节 配合物在医药学中的应用和发展前景	245
一、生命必需金属元素的补充	245
二、有毒金属元素的促排剂	245
三、药物的研制与开发	246
第十一章 碱金属和碱土金属	251
第一节 碱金属和碱土金属元素概述	251
第二节 碱金属和碱土金属元素单质的性质	254
一、物理性质	254
二、化学性质	254
第三节 碱金属和碱土金属元素的化合物	255
一、氧化物和氢氧化物	255
二、盐类	259
第十二章 p 区元素及其重要化合物	264
第一节 卤族元素	266
一、卤族元素的通性	267
二、卤素单质	268
三、卤化氢和氢卤酸	271
四、卤化物	273
五、卤素的含氧酸及其盐	275
六、含卤素的常用药物	279
第二节 氧族元素	280
一、氧族元素概述	280
二、氧和硫的单质	281
三、过氧化氢	284

四、硫化氢和硫化物	285
五、硫的重要含氧化合物	287
六、微量元素硒	292
第三节 氮族元素	292
一、氮族元素概述	292
二、氮及其重要化合物	293
三、磷的重要化合物	300
四、砷、铋的重要化合物	304
五、常见化合物的药物作用	305
第四节 碳族元素	306
一、碳族元素概述	306
二、碳及其重要化合物	307
三、硅及其重要化合物	311
四、锡和铅的重要化合物	313
第五节 硼和铝	315
一、硼的重要化合物	315
二、铝的重要化合物	317
三、常见化合物的药物作用	319
第十三章 d 区、ds 区元素及其重要化合物	325
第一节 过渡元素概述	327
一、过渡元素原子的结构特征	328
二、过渡元素单质的性质	329
三、过渡元素原子的氧化值	330
四、非整比化合物	331
五、过渡元素离子的颜色	331
六、过渡元素的催化作用	332
七、过渡元素离子的生物学效应	332
第二节 钛和钒	333
一、钛的单质和重要化合物	333
二、钒的单质和重要化合物	335
第三节 铬族元素	336
一、铬族元素单质	336
二、铬的重要化合物	337
三、钼和钨的重要化合物	340
第四节 锰	342
一、锰的单质	342
二、锰的重要化合物	342
第五节 铁系和铂系元素	344

8 无机化学

一、铁系和铂系元素概述	344
二、铁、钴、镍的重要化合物	347
第六节 铜族元素	351
一、铜族元素的物理性质和化学性质	351
二、铜的重要化合物	352
三、银的重要化合物	355
第七节 锌族元素	355
一、锌族元素概述	355
二、锌的重要化合物	357
三、汞的重要化合物	357
第八节 元素的生物功能和在医药学中的作用	359
一、生物必需元素及生物学效应	359
二、元素及其化合物在医药学中的应用	366
第十四章 f 区元素和核化学	374
第一节 镧系和锕系元素概述	374
一、价层电子结构和氧化值	376
二、原子半径和镧系收缩	377
三、离子的颜色	378
四、金属的活泼性	379
第二节 稀土元素	380
一、稀土元素的资源	380
二、稀土元素的提取和应用	380
第三节 核化学	383
一、原子核的结构	383
二、放射性衰变	383
三、放射性同位素在医药中的应用	384
附录	386
习题参考答案	400
参考文献	408

第一章 溶 液

○学习要点

1. 溶液的一般概念:分散系的定义及分类、溶解度的概念和溶液浓度常用的几种表示方法(质量浓度、物质的量浓度、质量分数和体积分数)。

2. 非电解质稀溶液的依数性。

(1)溶液的蒸气压下降和拉乌尔定律。溶液的浓度愈大,溶液的蒸气压下降愈多,溶液的蒸气压下降与溶质的本性无关。

(2)溶液沸点升高和凝固点降低的根本原因是溶液的蒸气压下降,其同样与溶质的质量摩尔浓度成正比,与溶质的本性无关。

公式表示为: $\Delta T_b = K_b b_B$; $\Delta T_f = K_f b_B$ 。

(3)溶液的渗透压(Π)以及与浓度、温度的关系。

范特霍夫定律: $\Pi V = n_B RT$ 或 $\Pi = c_B RT$; 溶液很稀时, $c_B \approx b_B$, $\Pi = b_B RT$ 。

3. 强电解质溶液的概念、活度和活度系数。

在工农业生产和人们的日常生活中离不开溶液,许多化学反应也都是在溶液中进行的,例如许多无机物的制备、金属的电化学腐蚀等。生命体内进行生物氧化所需的氧气和营养物质的输送、氧化反应的进行及二氧化碳和其他一些氧化产物的排出都是在溶液中进行的。人体的血液、细胞内液、细胞外液、淋巴液以及各种腺体的分泌液等都属于溶液,临床上的许多药物常常需要配制成溶液才能使用。因此,溶液对人类的生产和生命活动具有极其重要的意义。

第一节 溶液的一般概念

一、分散系

由一种物质或几种物质分散在另一种物质中所形成的体系称为分散体系,简称分散系。其中被分散的物质称为分散相或分散质;而容纳分散相的连续介质称为分散介质或分散剂。例如,碘酒、蛋白质水溶液、泥浆都是分散系,其中,碘、蛋白质、泥土是分散相,而酒精、水是分散介质。

由两种或两种以上不同物质所组成的均匀、稳定的分散系称为溶液。能溶解其他物

2 无机化学

质的分散剂称为溶剂,能被溶剂溶解的分散相称为溶质。溶质和溶剂可以是固体、液体或气体。按溶剂的状态不同,可分为固态溶液(又称固溶体,如合金)、液态溶液(如 NaCl 水溶液)和气态溶液(如空气)。通常所说的溶液是指液态溶液,最常用的溶剂是水,不指明溶剂的溶液一般都是指水溶液。

分散系的分类有许多方法,最基本的是以分散相粒子大小来划分。按分散相粒子的直径大小可将分散系分为 3 类。

1. 分散相粒子直径小于 1 nm 的分散系称为分子和离子分散系,又叫做真溶液,属于均相体系。如葡萄糖水溶液、NaCl 溶液、CuSO₄ 溶液等。

2. 分散相粒子直径在 1 ~ 100 nm 之间的分散系称为胶体分散系,简称胶体。它包括溶胶和高分子溶液。固态分散相分散于液态分散介质中所形成的胶体称为胶体溶液,简称溶胶。溶胶的分散相粒子是由许多低分子、离子或原子聚集而成的胶粒,它与分散介质之间有界面存在,属于非均相体系。如 Fe(OH)₃ 溶胶、As₂S₃ 溶胶及金、银、硫等单质溶胶等。高分子溶液的分散相粒子是单个的高分子,属于均相体系。如蛋白质溶液、核酸溶液等。

3. 分散相粒子直径大于 100 nm 的分散系称为粗分散系,属于非均相体系,它包括悬浊液和乳浊液。如泥浆、豆浆等。

分散系的分类及特征见表 1-1。以上 3 种分散系之间虽有明显的区别,但没有严格的界限,尤其是胶体分散系和粗分散系之间。例如,乳浊液常具有胶体分散系的性质,但其分散相粒子的直径常超出 100 nm。

表 1-1 分散系的分类及特征

分散系类型	分散相组成	分散相 粒子直径/nm	特 征
分子和离子 (真溶液)分散系	低分子或离子	<1	均相,均匀,透明,稳定,扩散快,不沉降,分散相粒子能透过半透膜
胶体分散系	分子、离子或原子的 聚集体	1 ~ 100	多相,不均匀,较稳定,扩散慢,不易沉降,分散相粒子不能透过半透膜
	单个高分子	1 ~ 100	均相,均匀,透明,稳定,扩散慢,不沉降,分散相粒子不能透过半透膜
粗分散系	固体颗粒、液体小滴	>100	多相,不均匀,不透明,不稳定,扩散很慢,自动沉降,分散相粒子不能透过半透膜

二、溶解过程

在一定温度下,一种或多种物质分散到另一种物质中的过程称为溶解,它是一个物理

化学过程。

在一定温度下,将固体溶质放入水中,固体表面上的分子或离子由于本身的运动及受到水分子的吸引,脱离固体表面而逐渐分散到水中,这是固体的溶解过程。在溶解的同时,已溶解的溶质微粒在不停地运动,当它们与未溶解的固体表面碰撞时,又可重新被吸引到固体表面,这一过程称为结晶。在一定条件下,当这两个相反过程的速率相等时,即达到一个动态平衡,此时溶液的浓度不再增加,称为饱和溶液;还能继续溶解溶质的溶液称为不饱和溶液。

物质在溶解过程中,常伴随着热量的变化。如氢氧化钾固体溶于水时放热,而硝酸铵固体溶于水时则吸热。固体物质溶解过程的热效应来自两方面:①溶质微粒离开固体表面必须克服内部微粒的吸引,这需要消耗一定的能量,溶质微粒进一步扩散也需要消耗一定的能量,这是一个吸热过程;②在溶解过程中还存在着溶质微粒和溶剂分子之间的吸引而形成的溶剂合物(如果溶剂是水,则称为水合物或水合离子,用aq表示),这一过程称为溶剂化过程。溶剂化作用使体系势能降低而放出能量,这是一个放热过程。由此可见,溶解的热效应取决于这两个过程热效应的相对大小,若放出的热量多于所吸收的热量,则溶解时表现为放热;若放出的热量少于所吸收的热量,则溶解时表现为吸热。

在溶解的过程中,也伴随有体积的变化。溶剂化作用越强,放热就越多,溶液体积减小;反之,溶液体积增大。例如,水和酒精混合所得溶液体积小于二者单独体积之和,放出较多的热量。苯和醋酸混合所得溶液体积大于二者单独体积之和,吸收热量。

第二节 溶解度和溶液的常用组成标度

一、溶解度

在一定温度、压力下,一定量溶剂溶解B物质达到饱和时,所含B物质的量称为B物质的溶解度。它是指饱和溶液中溶剂和溶质的相对含量,用符号S表示。

物质在水中的溶解度,常用一定温度下,某种物质在100 g水中达到饱和时所溶解的质量(g)来表示。例如,293 K时100 g水中最多能溶解31.7 g KNO_3 ,因此 KNO_3 的溶解度可用31.7 g/100 g水表示。溶解度也可用物质的量浓度来表示。

在相同温度下,不同物质在同一溶剂中的溶解度不同,同一物质在不同溶剂中的溶解度也不同。由此可见,影响物质溶解度的内因是溶质和溶剂的性质,而影响溶解度的外因却很多,其中温度的影响比较显著,大多数固体物质的溶解度随温度升高而增大。

二、溶液浓度的表示方法

浓度是溶液中溶剂和溶质的相对含量。常用的溶液浓度的表示方法有以下几种。

(一) 质量浓度

溶质B的质量浓度 ρ_B 定义为:溶质B的质量 m_B 除以溶液的体积V,即

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

4 无机化学

质量浓度的 SI 单位为 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, 医学常用单位为 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 等。如生理盐水的质量浓度为 $9.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

(二) 物质的量浓度

物质的量浓度 c_B 定义为: 物质 B 的物质的量除以混合物的体积。对于溶液而言, 物质的量浓度定义为: 溶质的物质的量 n_B 除以溶液的体积 V , 即

$$c_B = \frac{n_B}{V} \quad (1-2)$$

物质的量浓度的 SI 单位为 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$, 由于立方米单位太大, 物质的量浓度的单位常以 $\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 或 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 来表示, 也可用 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

使用物质的量浓度时, 必须指明物质的基本单元。如 $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 基本单元是 (H_2SO_4) ; $c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 基本单元是 $\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right)$ 。

世界卫生组织提议, 凡是已知相对分子质量的物质在体液内的含量均应用物质的量浓度表示。物质的量浓度在医学上已逐渐推广使用。例如人体血液中葡萄糖含量的正常值, 按法定计量单位应表示为 $c(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 3.9 \sim 5.6 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。对于未知摩尔质量的物质可用质量浓度表示。对于注射液, 世界卫生组织认为, 在绝大多数情况下, 应同时标明质量浓度和物质的量浓度。例如, 临床上输液用的等渗葡萄糖溶液, 过去常标为 5%, 现应标为 $50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 和 $0.28 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 。

(三) 质量摩尔浓度

质量摩尔浓度 b_B 定义为: 溶质 B 的物质的量 n_B 除以溶剂 A 的质量 m_A , 即

$$b_B = \frac{n_B}{m_A} \quad (1-3)$$

质量摩尔浓度的 SI 单位为 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。例如, 将 4.0 g NaOH 溶于 1000.0 g 水中, 所得 NaOH 溶液的质量摩尔浓度为 $0.10 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

(四) 摩尔分数

摩尔分数也可称为物质的量分数。摩尔分数 x_B 定义为: 物质 B 的物质的量 n_B 与混合物的物质的量 n 之比, 即

$$x_B = \frac{n_B}{\sum_{i=1}^n n_i} \quad (1-4)$$

若溶液由溶质 B 和溶剂 A 组成, 则溶质 B 和溶剂 A 的摩尔分数分别为

$$x_B = \frac{n_B}{n_A + n_B} \quad (1-5)$$

$$x_A = \frac{n_A}{n_A + n_B} \quad (1-6)$$

显然

$$x_A + x_B = 1 \quad (1-7)$$

(五) 质量分数

质量分数 w_B 定义为: 溶质 B 的质量 m_B 除以溶液质量 m , 即

$$w_B = \frac{m_B}{m} \quad (1-8)$$

以往使用的质量百分比浓度,现已改为质量分数。例如,98% H_2SO_4 可表示为 $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.98$ 。

(六) 体积分数

体积分数 φ_B 定义为:在某温度和压力下,纯物质 B 的体积 V_B 除以混合物中各组分纯物质的体积之和 V ,即

$$\varphi_B = \frac{V_B}{V} \quad (1-9)$$

对于溶质为液体的溶液,忽略混溶时的体积变化,计算时用溶质的体积除以溶液的体积。例如,消毒酒精 $\varphi(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 0.75$,表示用 75 mL 纯乙醇加水至 100 mL 配制而成。

例 1-1 浓盐酸(HCl)的相对密度为 1.19,质量分数为 0.38,计算它的物质的量浓度。

解 HCl 的摩尔质量为 $36.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$,所以浓盐酸的物质的量浓度为

$$c = \frac{1.19 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \times 1000 \times 0.38}{36.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 12.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

例 1-2 质量浓度为 $50.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 溶液和 $12.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaHCO_3 溶液,它们的物质的量浓度分别是多少?

解 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 的摩尔质量为 $180.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, NaHCO_3 的摩尔质量为 $84.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$,所以

$$c(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = \frac{50.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}}{180.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.28 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$c(\text{NaHCO}_3) = \frac{12.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}}{84.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.15 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

第三节 非电解质稀溶液的依数性

溶液的一类性质与溶质的本性有关,如颜色、密度、酸碱性、导电性等。但溶液的另一类性质,如蒸气压下降、沸点升高、凝固点降低和渗透压等,只与溶液中溶质粒子数目的多少有关,而与溶质的本性无关。这类仅与溶液中溶质的质点数有关,而与溶质本性无关的性质称溶液的依数性。由于这类性质只适用于稀溶液,故称为稀溶液的依数性。稀溶液的依数性,在化学和医学上都很重要。例如测定难挥发性溶质的摩尔质量,临床输液和讨论水盐代谢等问题时,都要涉及稀溶液的依数性。

一、溶液的蒸气压下降

(一) 液体的蒸气压

在一定温度下,将纯水注入一密闭容器中,由于分子的热运动,一部分动能较高的分子自水面逸出,扩散到水面上部的空间,形成气相,这一过程称为蒸发。同时,气相的水分子也会接触到水面并被吸引到液相中,这一过程称为凝结。开始,蒸发过程占优势,但随