

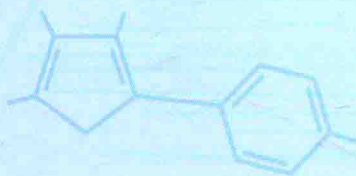
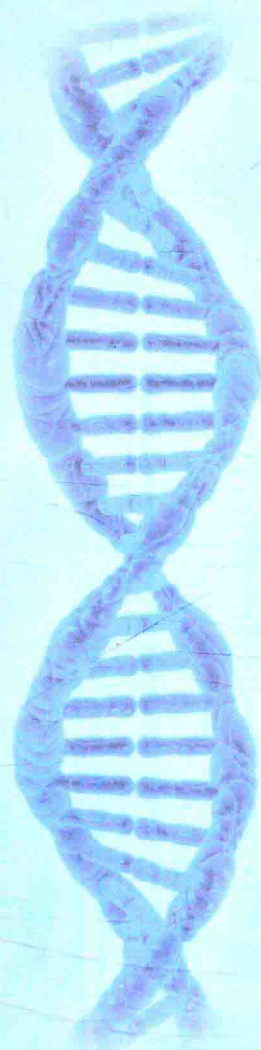
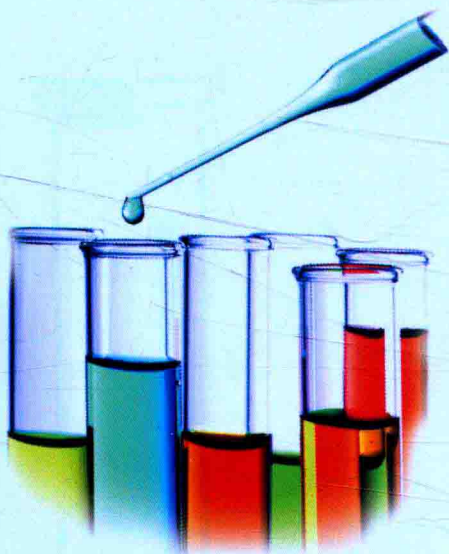


全国高等卫生职业教育高素质技能型
人才培养“十三五”规划教材

供药学、医学检验技术及生物等相关专业使用

无机化学

付煜荣 罗孟君 卢庆祥◎主编



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>



全国高等卫生职业教育高素质技能型
人才培养“十三五”规划教材

供药学、医学检验技术及生物等相关专业使用

无机化学

主 编 付煜荣 罗孟君 卢庆祥

副主编 刘忠丽 丁润梅 李海霞

编 者 (以姓氏笔画为序)

丁润梅 宁夏医科大学

付煜荣 海南医学院

卢庆祥 枣庄科技职业学院

白 熙 长治医学院

刘忠丽 枣庄科技职业学院

李海霞 海南医学院

罗孟君 益阳医学高等专科学校

蒋广敏 枣庄科技职业学院

谢小雪 皖北卫生职业学院



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 提 要

本书是全国高职高专药学、医学检验技术专业“十三五”规划教材。

本书内容包括绪论、溶液和胶体、化学反应速率和化学平衡、电解质溶液和酸碱平衡、沉淀-溶解平衡、氧化还原与电极电势、原子结构和元素周期律、共价键和分子间作用力、配位化合物、s 区元素、p 区元素、d 区和 ds 区元素,以及元素与人体健康。在理论知识之后,编排有无机化学实验。正文后列有能力检测答案、附录和参考文献等。

本书适合高职高专药学、医学检验技术专业学生使用,也适合生物等相关专业学生使用。

图书在版编目(CIP)数据

无机化学/付煜荣,罗孟君,卢庆祥主编. —武汉:华中科技大学出版社,2016.7

全国高等卫生职业教育高素质技能型人才培养“十三五”规划教材. 药学及医学检验专业

ISBN 978-7-5680-1697-1

I. ①无… II. ①付… ②罗… ③卢… III. ①无机化学-高等职业教育-教材 IV. ①O61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 080489 号

无机化学

付煜荣 罗孟君 卢庆祥 主编

Wuji Huaxue

策划编辑:荣 静

责任编辑:王新华

封面设计:原色设计

责任校对:张 琳

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321913

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:武汉鑫昶文化有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:14.5 插页:1

字 数:351 千字

版 次:2016 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:39.80 元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

前言

QIANYAN

本书根据华中科技大学出版社组织的“十三五”规划教材编写研讨会精神,突出高素质、技能型人才的培养要求,强调“三基”(基础理论、基本知识、基本技能),坚持“必需、够用为度”的原则。根据高等卫生职业教育药学及医学检验技术专业的培养目标和要求,本书重点阐述无机化学基本概念和基本理论,充实专业实例,突出药学、医学检验技术等专业特点,优化了教材内容,对一些内容进行了删减或合并。比如,考虑到后续开设的物理化学课程中会对“化学热力学”和“化学动力学”两部分内容有较为详细的叙述,为避免重复教授,在本书中压缩了这两部分内容,合并为“化学反应速率和化学平衡”。合并后的章节包含“化学平衡常数的表达”,与后续的“酸碱平衡”等平衡理论可以很好地衔接。

为适应化学与医药学相互渗透的发展需求,适当增加了自学内容(标有*号)和“知识拓展”,有利于激发学生学习无机化学的兴趣。为方便教学,在每章正文前列出与教学大纲相对应的“本章要求”,正文后提供“能力检测”,便于学生在学习过程中对照要求自我检测,及时查找不足,补齐“短板”,在理论知识之后,编排有无机化学实验。实验内容既与理论知识相联系,又相对独立;既包括基本操作练习的内容(实验1、实验2),也有综合性实验(实验3~实验10),还增加了有助于提高学生创新思维的方案设计实验(实验11)。全书正文后列有能力检测答案、附录和参考文献等。

本书适应高等卫生职业教育教学特点,避免成为本科教材的精编版。

本书采用以国际单位制(SI)为基础的中华人民共和国法定计量单位和国家标准(GB 3100~3102—1993)中所规定的符号和单位。

本书按照65~70学时,分12章编写,编写人员包括:海南医学院付煜荣(绪论、第六章“原子结构和元素周期律”和实验1)、益阳医学高等专科学校罗孟君(第一章“溶液和胶体”、第七章“共价键和分子间作用力”和实验2)、枣庄科技职业学院刘忠丽(第二章“化学反应速率和化学平衡”和实验3)、枣庄科技职业学院蒋广敏(第三章“电解质溶液和酸碱平衡”和实验6)、枣庄科技职业学院卢庆祥(第四章“沉淀溶解平衡”、实验4和实验5)、宁夏医科大学丁润梅(第五章“氧化还原与电极电势”和实验7)、海南医学院李海霞(第八章“配位化合物”和实验8)、长治医学院白熙(第九章“s区元素”、第十章“p区元素”和实验9、实验11)和皖北卫生职业学院谢小雪(第十一章“d区和ds区元素”、第十二章“元素与人体健康”和实验10)。海南医学院李海霞协助主编对全书进行了整理。



在本书编写过程中得到了宝鸡职业技术学院宋克让教授、南京医科大学祁嘉义教授的
帮助与支持,在此表示衷心感谢!

由于编者水平所限,书中不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正!

编 者

2016 年 1 月

目录

MULU

绪论	/1
第一章 溶液和胶体	/4
第一节 分散系	/4
第二节 溶液的浓度	/6
第三节 稀溶液的依数性	/8
第四节 溶胶的结构和性质	/17
第五节 大分子化合物溶液和凝胶	/21
第二章 化学反应速率和化学平衡	/26
第一节 化学反应速率的表示方法	/26
第二节 影响化学反应速率的因素	/28
第三节 化学平衡	/30
第四节 化学平衡的移动	/33
第三章 电解质溶液和酸碱平衡	/38
第一节 强电解质溶液理论	/38
第二节 酸碱质子理论	/39
第三节 水溶液中的质子转移平衡及有关计算	/41
第四节 缓冲溶液	/44
第四章 沉淀溶解平衡	/52
第一节 溶度积常数	/52
第二节 沉淀的生成和溶解	/55
第五章 氧化还原与电极电势	/60
第一节 氧化还原反应的基本概念	/60
第二节 原电池与电极电势	/62
第三节 影响电极电势的因素	/66
第四节 电极电势和电池电动势的应用	/68
第六章 原子结构和元素周期律	/73
第一节 原子结构理论发展史	/73
第二节 微观粒子的运动特征	/74
第三节 核外电子运动状态的描述	/75
第四节 多电子原子的核外电子排布	/80
第五节 原子的电子构型和元素周期表	/83



第七章 共价键和分子间作用力	/90
第一节 共价键理论	/90
第二节 分子间的作用力	/99
第八章 配位化合物	/108
第一节 配合物的基本概念	/108
第二节 配合物的化学键理论	/112
第三节 配位平衡	/117
第四节 螯合物	/121
第五节 配位化合物在医学上的应用	/122
第九章 s 区元素	/126
第一节 碱金属、碱土金属区	/126
第二节 水的净化	/130
第三节 s 区元素在医学检验及药学中的一些应用	/131
第十章 p 区元素	/133
第一节 p 区元素概述	/133
第二节 卤素元素	/134
第三节 氧族元素	/137
第四节 氮族元素	/141
第五节 碳族元素	/145
第六节 硼族元素	/147
第七节 p 区元素在医学检验及药学中的应用	/148
第十一章 d 区和 ds 区元素	/150
第一节 d 区和 ds 区元素概述	/150
第二节 铬、锰、铁和钴	/152
第三节 铜、银、锌	/159
第四节 d 区和 ds 区元素在医药学及临床检验中的应用	/163
第十二章 元素与人体健康*	/166
第一节 人体必需元素	/166
第二节 生命元素的生理功能	/167
第三节 环境污染中有害元素	/168
无机化学实验	/171
实验 1 无机化学实验基本操作	/171
实验 2 溶液的配制	/177
实验 3 离子交换法制备去离子水	/179
实验 4 醋酸解离常数的测定	/183
实验 5 分光光度法测定碘化铅的溶度积常数	/185
实验 6 缓冲溶液的配制与 pH 值测定	/187
实验 7 氧化还原反应	/189
实验 8 配位化合物	/191

实验 9 p 区非金属元素性质	/193
实验 10 d 区元素的性质与分离鉴定	/199
实验 11 设计性实验——阴离子的分离与鉴定	/203
能力检测答案	/207
附录	/214
附录 A 国际单位制的基本单位	/214
附录 B 常见弱电解质在水中的解离常数	/214
附录 C 常见难溶电解质的溶度积(298 K)	/216
附录 D 常见氧化还原电对的标准电极电势 $\varphi^\ominus$	/217
附录 E 常见配离子的稳定常数	/220
参考文献	/222
元素周期表	插页

绪论

一、化学研究的对象和发展史

化学是研究物质组成、结构、性质、变化规律和变化过程中能量关系的一门科学。化学变化的基本特征是有物质发生质变,并同时伴随着能量变化。

化学研究的对象是自然界中的各种各样的物质。浩瀚的宇宙和地球上人类用肉眼能见到的和不能直接观察到的以原子或分子形态存在的物质,都是我们要了解和研究的对象。

化学学科从古代就已经开始了。中国的原始人已会用黏土烧制陶器,并逐渐改进和研制出彩陶、白陶、釉陶和瓷器等。在金属冶炼方面,观察到铜矿石如孔雀石(碱式碳酸铜)与燃烧的木炭接触而被分解为氧化铜,进而掌握了以木炭还原铜矿石的炼铜技术。以后又陆续掌握炼锡、炼锌、炼镍等技术。在春秋战国时期中国已掌握了从铁矿冶铁和由铁炼钢的技术,公元前 2 世纪发现铁能与铜化合物溶液反应产生金属铜,这个反应后来成为生产铜的方法之一。

化学学科的发展和药物密不可分。药物的制备要追溯到古代。古代的“炼丹术士”是化学科学的前驱者,他们最初的目的是炼制出能让人长生不老的“仙丹”和发现“点石成金”的“仙术”。公元 2 世纪,我国东汉时期著名医学家华佗发明了“麻沸散”,被中国世界纪录协会列为世界最早的麻醉剂;公元 7 世纪,中国即有用焰硝(硝酸钾)、硫黄和木炭做成火药的记载。明朝宋应星在 1637 年刊行的《天工开物》中详细记述了中国古代手工业技术,其中有陶瓷器、铜、钢铁、食盐、焰硝、石灰、红矾和黄矾等几十种无机物的生产过程。此外,中国传统中药中有矿物药石膏(硫酸钙,有清热作用)、朱砂(硫化汞,有镇惊安神之功)等。西医用笑气(一氧化二氮)、乙醚、氯仿等化学麻醉剂进行外科手术已有 150 年左右的历史。西药都是纯度较高的化学品,有 200 多年的历史。

在欧洲文艺复兴时期,出版了一些有关化学的书籍,第一次有了“化学(chemistry)”这个名词。英语的“chemistry”起源于“alchemy”,即炼金术。“chemist”至今还保留着“化学家”和“药剂师”两个含义。这也证明了化学最早来源于炼金术和制药业。

化学的发展经历了燃素化学时期、定量化学时期和现代化学时期。

(1) 燃素化学时期:从 1650 年到 1775 年,随着人们在冶金和实践经验不断积累,人们认为可燃物的燃烧是因为它含有“燃素”,燃烧的过程是其中“燃素”放出的过程,可燃物放出“燃素”后成为灰烬。

(2) 定量化学时期:1775 年前后,拉瓦锡用定量化学实验证明了燃烧是氧化过程,开创了定量化学时期。这一时期建立了不少化学基本定律,提出了原子学说,发现了元素周期



律,发展了有机结构理论。所有这一切都为现代化学的发展奠定了坚实的基础。

(3) 现代化学时期:二十世纪初,量子论的发展使化学和物理学有了共同的语言,解决了化学上许多悬而未决的问题;另一方面,化学又向生物学和地质学等学科渗透,使蛋白质、酶的结构问题逐步得到解决。

二、化学的分支学科

1. 无机化学

研究的主要对象:元素及其化合物(除碳氢化合物及其衍生物外)。

研究的主要内容:元素、单质及无机化合物的来源、制备、性质、变化和应用。

2. 分析化学

主要研究对象:分析方法及其有关理论。包括对物质进行定性分析和定量分析研究。

3. 有机化学

研究的主要对象:碳氢化合物及其衍生物。

研究的主要内容:有机物性质、结构、合成方法、有机物间的相互转变及其变化规律和理论。

4. 物理化学

主要研究内容:化学热力学、化学动力学、电化学、表面化学以及物质结构。

化学的发展,使化学各分支的界限越来越模糊,交叉学科、应用学科不断涌现。如生物化学、环境化学、食品化学、精细化学品化学和材料化学等。

现在,化学和我们的日常生活息息相关,化学科学的发展也促进了人类社会文明的进步,提高了人们的生活质量。各领域科学技术的创新也离不开化学,化学的重要地位逐渐被科学界认可,化学已成为各门自然科学的中心学科。

三、化学与医学、药学和临床检验等学科的关系

医学的许多领域都涉及化学知识。如医学所研究的生理和病理现象与体内物质的代谢作用密切相关,而代谢与体内的化学变化相关联。疾病的诊断需进行血、尿等生物样品的检验,临床检验常依靠化学方法进行。疾病的治疗所使用的药物,常采用化学合成和化学分离方法制备,其药理作用、毒副作用和药物间的配伍也与其化学性质密切相关。

在卫生监督、疾病预防等方面常需进行饮水分析、食品检验、环境检测,都依赖于化学。

四、无机化学的重要性

无机化学是化学类课程的基础,主要研究元素及其化合物,研究的具体内容如下:

- (1) 四大化学平衡:包括酸碱平衡、沉淀溶解平衡、氧化还原平衡和配位平衡等。
- (2) 物质结构理论:包括原子结构理论、分子结构理论。
- (3) 化学热力学和化学动力学基本理论。

(4) 元素化学:包括元素周期表中s区、p区、d区和ds区等主要元素、单质及无机化合物的性质、来源、制备和应用等。

对于药学和医学检验技术专业,不论在学习后续课程还是在以后的临床实践过程中,都会涉及无机化学的知识。例如,开设的后续课程有有机化学、分析化学、物理化学、仪器

分析、生物化学、药物化学等,要学好这些课程,必须有无机化学的基础知识。新药的研发、检验新方法的建立都和无机化学息息相关。

无机化学是一门理论和实践相结合的学科。通过本课程理论知识的学习,学生可以掌握无机化学理论基础;通过实践活动,学生可以在巩固和验证基本理论的同时,掌握基本的实验技能,培养严谨的科学态度,获得分析问题和解决问题的能力,有利于创新型人才的培养。

五、学习无机化学的方法

要想学好无机化学课程,应做到以下几点:

(1) 课前预习。预习的过程中,会产生疑问,带着问题听课,会特别注意课前预习中自己不理解的部分,做到有的放矢。

(2) 课堂上认真听讲。课堂是教学中的重要环节。听讲时要紧跟老师的思路,积极思考,听课时适当做些笔记,这样有利于课后复习,提高自学能力。

(3) 课后及时归纳总结。本门课程理论性较强,有些概念比较抽象。对于较难学的知识,只靠听讲是不能完全掌握的,要通过不断思考和归纳总结才能逐渐加深理解并掌握其实质。

(4) 课后完成作业:课后完成一定量的习题有助于深入理解课堂所学内容。学完一个章节后,要“趁热打铁”,按时完成作业,及时消化。

(5) 查阅参考书及互联网资源。在学习过程中,阅读一定量的课外参考书是必要的。大学的图书馆和阅览室为我们创造了很好的条件,应根据本人情况善于利用。另外,互联网日趋普及,闲暇时也可以上网查阅相关资料,这对养成独立思考的习惯和提高自学能力有益。

(6) 重视实验课。化学是建立在实验基础上的学科,除了学好理论知识外,还必须重视无机化学实验。进行实验不仅能验证理论,而且还能提高动手能力、培养科学素养、形成团队合作精神。只有理论联系实际,才能学好无机化学。

(付煜荣)

第一章 溶液和胶体

本章要求

- 1. 掌握溶液组成标度的表示方法、渗透压的有关概念及其有关计算、溶胶的稳定性及聚沉。
- 2. 熟悉非电解质稀溶液的依数性、胶体的性质、渗透压在医学中的意义。
- 3. 了解分散系的分类和性质、大分子溶液的性质及对溶胶的保护作用。



第一节 分散系

一、分散系

分散系(dispersion system)是一种或几种物质的微粒分散在另一种物质中所形成的体系。其中,被分散的物质称为分散相(dispersion phase)或分散质,容纳分散相的物质称为分散介质(dispersion medium)或分散剂。例如,消毒用的碘酊就是碘分散在乙醇中形成的分散系,其中碘是分散相,乙醇是分散介质。

二、分散系的分类

不同分散系中的分散相粒子大小不一样,根据分散相粒子大小可将分散系(见表 1-1)分为三种类型:分子或离子分散系、胶体分散系和粗分散系。

表 1-1 分散系的分类及主要性质

分散系类型	溶液	分散相粒子	粒子直径/nm	主要特征
分子或离子分散系	真溶液	小分子或离子	<1	均匀、稳定、透明、能透过滤纸和半透膜
胶体分散系	溶胶	分子或离子的聚集体	1~100	透明度不一、不均匀、相对稳定、不易聚沉、能透过滤纸而不能透过半透膜
	大分子溶液	单个大分子		

续表

分散系类型	溶液	分散相粒子	粒子直径/nm	主要特征
粗分散系	悬浊液	固体颗粒	>100	混浊、不均匀、不稳定、容易聚沉、不能透过滤纸和半透膜
	乳浊液	液体小滴		

1. 分子或离子分散系

分散相粒子直径小于 1 nm (1 nm = 10⁻⁹ m) 的分散系称为分子或离子分散系 (molecular and ionic dispersion system), 又称为真溶液。通常把溶液中的分散相称为溶质, 把分散介质称为溶剂。水是一种常用的溶剂, 不具体注明溶剂的溶液就是指水溶液, 如葡萄糖溶液、氯化钠溶液。

分子或离子分散系中分散相粒子为单个的分子或离子。由于分散相粒子太小, 因而它能让光线通过, 分散相与分散介质之间也不存在界面, 它是一类均匀、稳定、透明的分散系。分子或离子分散系中分散相粒子能透过滤纸和半透膜。

2. 胶体分散系

分散相粒子直径在 1 ~ 100 nm 的分散系称为胶体分散系 (colloidal dispersion system), 主要包括溶胶和大分子溶液。其中把固态分散相分散在液态分散介质中形成的胶体溶液, 称为溶胶。

溶胶的胶粒是许多分子、原子或离子的聚集体, 分散相与分散介质之间有界面, 能让部分光线通过, 因而透明度不一。溶胶的主要特征是不均匀、相对稳定、胶粒能透过滤纸但不能透过半透膜。大分子溶液, 其分散相粒子是单个大分子, 粒子大小在胶体分散系范围内; 分散相与分散介质之间没有界面, 它是均匀、稳定、透明的体系; 分散相粒子能透过滤纸但不能透过半透膜。

3. 粗分散系

分散相粒子直径大于 100 nm 的分散系称为粗分散系 (coarse dispersion system)。其分散相粒子是由较多的分子聚集而成。根据分散相状态不同, 粗分散系分为悬浊液和乳浊液。如泥浆水、外用皮肤杀菌剂——硫黄合剂等。

分散相是以小液滴分散在另一互不相溶的液体分散介质中所形成的粗分散系称为乳浊液。如乳汁、敌百虫乳剂、外用松节油搽剂等。

粗分散系的分散相和分散介质之间有界面, 能阻止光线通过, 故粗分散系不均匀、不稳定、外观混浊, 不能透过滤纸和半透膜。放置后, 悬浊液会出现沉淀, 乳浊液会出现分层。

乳浊液在医药上又叫乳剂。乳剂一般不稳定, 要使其稳定, 必须加入使其稳定的物质, 这种物质叫乳化剂。乳化剂是一类表面活性剂, 含有亲水基和亲油基, 可使分散相的小液滴上形成一层乳化剂薄膜, 使小液滴间不易相互聚集。常见的表面活性剂有肥皂、合成洗涤剂、构成细胞膜的磷脂、血液中的某些蛋白质、体内的胆汁盐酸等。

乳化作用在医学上有重要的意义。油脂在体内的消化吸收过程中, 依赖于胆汁中胆汁盐酸的乳化作用, 可以加速油脂的水解, 使水解产物易被小肠吸收。药用油类物质常需乳化后才能内服, 如鱼肝油乳剂, 其目的是便于吸收和尽量少扰乱胃肠功能。



第二节 溶液的浓度

溶液的性质常与溶液中溶质和溶剂的相对组成有关。稀硫酸能与铁发生置换反应放出氢气；浓硫酸则可使铁钝化，在铁表面生成一层致密的氧化膜以阻止硫酸继续与铁反应。同为硫酸，浓度不同，则性质不同。因此，配制一种溶液，不仅要标明溶质和溶剂的名称，还必须标明溶液的浓度(concentration)。

溶液的浓度是指溶液中溶质和溶剂的相对含量。同一种溶液，根据不同的需要，可选择不同的浓度表示方法。常见溶液的浓度表示方法有物质的量浓度、质量浓度、质量摩尔浓度、摩尔分数、质量分数和体积分数等。

一、物质的量浓度和质量浓度

1. 物质的量浓度 c_B

物质的量浓度(amount of substance concentration)，简称为浓度(concentration)。单位体积溶液中所含溶质 B 的物质的量，叫做溶质 B 的物质的量浓度，用符号 c_B 表示，也可用 $c(B)$ 表示。即

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

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。物质的量浓度常用的单位为摩尔每升(mol/L)、毫摩尔每升(mmol/L)和微摩尔每升(μ mol/L)等。

【例 1-1】 正常人每 100 mL 血浆中含葡萄糖($C_6H_{12}O_6$) 100 mg、 HCO_3^- 164.7 mg、 Ca^{2+} 10.0 mg，求它们的物质的量浓度(单位:mmol/L)。

$$\text{解: } c_{C_6H_{12}O_6} = \frac{100}{180} \div \frac{100}{1000} \text{ mmol/L} = 5.6 \text{ mmol/L}$$

$$c_{HCO_3^-} = \frac{164.7}{61.0} \div \frac{100}{1000} \text{ mmol/L} = 27.0 \text{ mmol/L}$$

$$c_{Ca^{2+}} = \frac{10.0}{40.0} \div \frac{100}{1000} \text{ mmol/L} = 2.5 \text{ mmol/L}$$

2. 质量浓度

质量浓度(mass concentration)用 ρ_B 表示。单位体积溶液中所含溶质 B 的质量，叫做溶质 B 的质量浓度。即

$$\rho_B = \frac{m_B}{V} \quad (1-2)$$

在临床检验中，世界卫生组织建议，凡是相对分子质量(M_r)已知的物质，统一用物质的量浓度表示含量，对于 M_r 未知的物质，在人体内的含量可用质量浓度 ρ_B 表示。

物质 B 的质量浓度 ρ_B 与物质 B 的物质的量浓度 c_B 之间的关系为

$$c_B = \frac{\rho_B}{M_B} \quad (1-3)$$

二、质量摩尔浓度和摩尔分数

1. 质量摩尔浓度 b_B

质量摩尔浓度(molality),用符号 b_B 表示,定义为溶质 B 的物质的量除以溶剂 A 的质量,即

$$b_B = \frac{n_B}{m_A} \quad (1-4)$$

式中 n_B 为溶质 B 的物质的量(mol 或 mmol), m_A 为溶剂 A 的质量(kg)。质量摩尔浓度的单位为摩尔每千克(mol/kg)或毫摩尔每千克(mmol/kg)。

【例 1-2】 将 36 g 葡萄糖(摩尔质量是 180 g/mol)溶于 2000 g 水中,求溶液的质量摩尔浓度。

$$b_{C_6H_{12}O_6} = \frac{\frac{36 \text{ g}}{180 \text{ g/mol}}}{2 \text{ kg}} = 0.1 \text{ mol/kg}$$

对于很稀的水溶液,1 mol/kg 约为 1 mol/L。

2. 摩尔分数 x_B

摩尔分数(mole fraction),用符号 x_B 表示,定义为混合物中物质 B 的物质的量与混合物总物质的量之比。即

$$x_B = \frac{n_B}{\sum_i n_i} \quad (1-5)$$

式中 n_B 为物质 B 的物质的量, $\sum_i n_i$ 为混合物中各组分物质的量之和。 x_B 的单位为 1。

若溶液由溶质 B 和溶剂 A 两种物质组成,则溶质 B 和溶剂 A 的摩尔分数分别为

$$x_B = \frac{n_B}{n_A + n_B}, \quad x_A = \frac{n_A}{n_A + n_B}$$

式中 n_A 为溶剂 A 的物质的量, n_B 为溶质 B 的物质的量,并且 $x_A + x_B = 1$ 。

由于质量摩尔浓度和摩尔分数与温度无关,因此在物理化学中应用广泛。

三、质量分数与体积分数

1. 质量分数 w_B

物质 B 的质量分数(mass fraction),用符号 w_B 表示,定义为混合物中物质 B 的质量除以混合物的总质量,即

$$w_B = \frac{m_B}{\sum_i m_i} \quad (1-6)$$

式中 m_B 为溶质 B 的质量, $\sum_i m_i$ 为混合物中各组分质量之和。 w_B 的单位为 1。

2. 体积分数 φ_B

体积分数(volume fraction),用符号 φ_B 表示,定义为混合物中物质 B 的体积除以混合物的总体积,即



$$\varphi_B = \frac{V_B}{\sum_i V_i} \quad (1-7)$$

式中 V_B 为物质 B 的体积, $\sum_i V_i$ 为混合物中各组分体积之和。 φ_B 的单位为 1。

【例 1-3】 市售浓硫酸的密度为 1.84 kg/L, 质量分数为 96%, 试求该难挥发非电解质稀溶液的 $c_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ 、 $x_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ 和 $b_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ 。

解: $M_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 98 \text{ g/mol}$

(1) 以 1 L 浓硫酸计:

$$c_{\text{H}_2\text{SO}_4} = (1.84 \times 1000) \times 0.96 / 98 \text{ mol/L} = 18 \text{ mol/L}$$

(2) 以 100 g 浓硫酸计:

$$x_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{n_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{n_{\text{H}_2\text{O}} + n_{\text{H}_2\text{SO}_4}} = \frac{96/98}{96/98 + 4/18} = 0.815$$

(3) 以 100 g 浓硫酸计:

$$b_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{n_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{m_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{96/98}{4/1000} \text{ mol/kg} = 245 \text{ mol/kg}$$



第三节 稀溶液的依数性

溶解过程是物理-化学过程。当溶质溶解于溶剂中形成溶液后, 溶液的性质已不同于原来的溶质和溶剂。溶液的一些性质与溶质的种类(亦即本性)有关, 如稀溶液的颜色、味道、状态、密度、体积、导电性和表面张力等。溶液的另一一些性质(如蒸气压、沸点、凝固点以及渗透压等)却与溶质的种类(亦即本性)无关, 仅仅取决于溶液中溶质粒子的浓度。由于这类性质的变化依赖于溶质的粒子数且又只适用于稀溶液, 所以 Ostwald 将这类性质称为稀溶液的依数性(colligative properties of dilute solutions)。本教材主要介绍难挥发非电解质稀溶液, 简称为稀溶液。

人体中含有难挥发非电解质和弱电解质, 如葡萄糖、氨基酸、多肽、蛋白质等, 其在血液中的浓度极低, 近似于稀溶液。

一、稀溶液的蒸气压下降

1. 溶剂的蒸气压

在一定温度下, 将某纯溶剂, 如水置于一密闭容器中, 一部分动能较高的水分子将克服液体分子间的引力自液面逸出, 成为蒸气分子, 形成气相(系统中物理性质和化学性质都相同的部分称为一相), 这一过程称为蒸发(evaporation)。同时, 蒸气分子也会接触到液面并被吸引转化为液态水, 这一过程称为凝结(condensation)。开始时, 蒸发速率大, 但随着气态水的密度增大, 凝结的速率也随之增大。当液态水蒸发的速率与气态水凝结的速率相等时, 气相(gas phase, g)与液相(liquid phase, l)达到平衡:



这时, 水蒸气的密度不再改变, 其压力也不再改变。纯溶剂气、液相平衡时, 蒸气所具

有的压力称为该溶剂在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)。

蒸气压与物质的本性有关。由表 1-2 可知,同一温度下,不同物质的蒸气压不同,蒸气压大的称为易挥发性物质,蒸气压小的则称为难挥发性物质。

表 1-2 一些液体的蒸气压

物质	水	乙醇	苯	乙醚	汞
蒸气压/kPa	2.34	5.85	9.96	57.6	1.6×10^{-4}

蒸气压除与物质的本性有关外,还和外界温度有关。同一物质的蒸气压随温度升高而增大,比如水的蒸气压(详见表 1-3)。

表 1-3 不同温度下水的蒸气压

T/K	p /kPa	T/K	p /kPa
273	0.61	333	19.92
283	1.23	343	31.16
293	2.34	353	47.34
303	4.24	363	70.10
313	7.38	373	101.32
323	12.33	393	198.54

2. 稀溶液的蒸气压下降

实验证明,在相同温度下,当难挥发的非电解质溶于溶剂形成稀溶液后,其蒸气压比纯溶剂的蒸气压低,这种现象称为稀溶液的蒸气压下降(vapor lowering)。由于溶质是难挥发性物质,稀溶液的部分表面被溶质分子所占据,从溶液中蒸发出的溶剂分子数比从纯溶剂中蒸发出的分子数少,因此,稀溶液的蒸气压必然低于纯溶剂的蒸气压。且稀溶液的浓度越大,其蒸气压下降就越多。图 1-1 表示纯溶剂与稀溶液的蒸气压曲线。

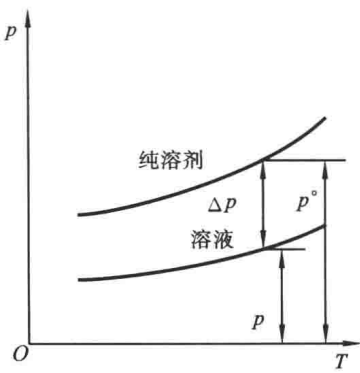


图 1-1 溶液的蒸气压下降

1887 年法国化学家拉乌尔(Raoult F. M.)根据大量实验结果总结出如下规律:在一定温度下,难挥发性非电

解质稀溶液的蒸气压(p)等于纯溶剂的蒸气压(p°)乘以溶液中溶剂的摩尔分数(x_A)。即

$$p = p^{\circ} x_A \tag{1-8}$$

或

$$\Delta p = p^{\circ} x_B \tag{1-9}$$

拉乌尔定律也可表述为:在一定温度下,难挥发性非电解质稀溶液的蒸气压下降值(Δp)与溶质的摩尔分数(x_B)成正比。

在稀溶液中,溶剂的物质的量 n_A 远远大于溶质的物质的量 n_B 。所以有