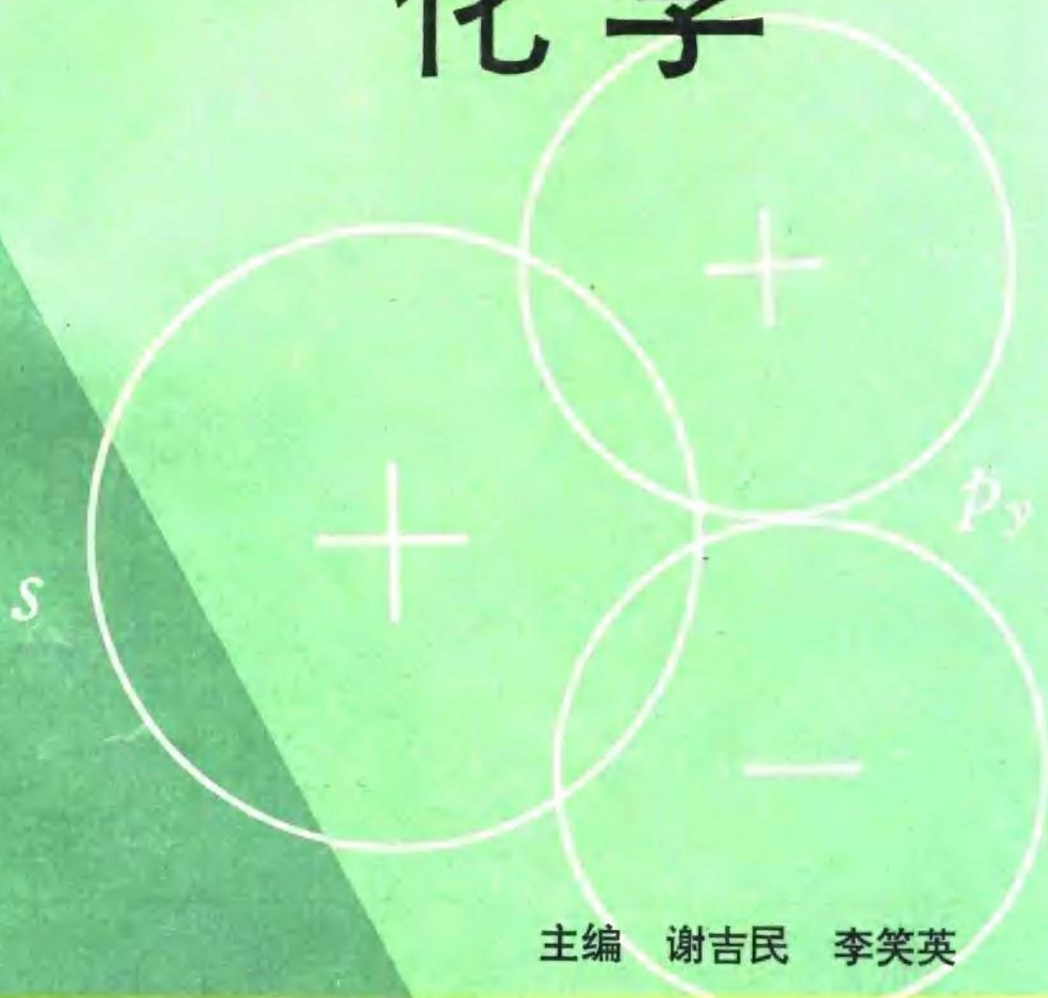


· 第二版 ·

无机 WUJI 化学 HUAXUE



主编 谢吉民 李笑英

东南大学出版社

高等医学院校教材
(检验专业用)

无机化学

(第二版)

主 编 谢吉民 李笑英
主 审 丁绪亮
副主编 邓长贵 顾国耀 陈金玉 庞茂林
编 者 (按姓氏笔划为序)
于 丽 仇佩虹 邓长贵 李 劲
李 珊 李笑英 陈金玉 陈 敏
庞茂林 罗 辉 顾国耀 奚达宝
曾小玲 谢吉民



东南大学出版社

无机化学

谢吉民 李笑英 主编

*

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼2号 邮编 210096)

江苏省新华书店经销 镇江新民洲印刷厂印刷

*

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 20.5 字数 511.7 千

1997 年 8 月第 2 版 1997 年 8 月第 1 次印刷

印数:1—7000 册

ISBN 7—81050—237—9/O·14

定价:24.50

(凡因印装质量问题,可直接向承印厂调换)

内 容 提 要

本书是在总结 1990 年第一版《无机化学》使用经验的基础上,根据全国高等医学院校检验专业校际会议精神,参照近年来我国检验专业无机化学课程的现状修订编写而成。全书注意与中学化学的衔接,重点阐述无机化学的基本概念和基本理论,结合专业实例,突出检验专业化学特点。考虑到不同专业不同层次的需要,本书适当加强现代理论部分,介绍了无机化学的发展前沿,增加与医药学及生物学有关的现代无机化学知识。

全书分为化学原理(溶液、电解质溶液与离子平衡、沉淀溶解平衡、缓冲溶液、化学反应中的能量变化、化学反应速率、氧化还原与电极电势、原子结构、分子结构及配位化合物诸章)和元素化学(*s* 区元素、*p* 区元素、*d* 区元素、镧系、锕系元素及稀有气体、生物学和医学中的化学元素诸章)两大部分,共 15 章,每章后附有一定数量的习题。

本书可作为高等医学院校医学检验、卫生检验、药品检验等专业的教材,也可供其它相关专业参考使用。

前 言

《无机化学》第二版是在总结第一版使用经验的基础上,根据全国高等医学院校检验专业校际会议精神,参照近年来我国检验专业无机化学课程的现状修订编写而成。

本书第二版仍本着“加强基础理论,联系专业实际”的指导思想,参照第一版内容的深度和广度,根据检验专业培养目标和要求,重点阐述无机化学基本概念和基本理论,充实专业实例;突出检验专业化学特点。本书适当加强现代理论部分,介绍无机化学的发展前沿,增加与医药学及生物学有关的现代无机化学知识,以适应不同专业、不同层次的需要。本版采用以国际单位制(SI)为基础的《中华人民共和国法定计量单位》和国家标准(GB)中所规定的符号。

本书按授课 72 学时编写,可供高等医学院校医学检验、卫生检验、药品检验等专业作为教材,也可供其它相关专业参考使用。

由于情况变化,本书第一版编委胡继岳、孙发山、陈元麒、高仰之、吕文光等没有参加第二版编写,对他们为本书所作出的贡献,表示衷心感谢。

本书第二版由谢吉民、李笑英任主编,邓长贵、顾国耀、陈金玉、庞茂林任副主编。具体编写分工为:绪论李笑英(天津医科大学),第一章陈金玉(贵阳医学院),第二章、第三章李珊(青岛医学院),第四章陈金玉(贵阳医学院),第五章罗辉(广东医学院),第六章李劲、曾小玲(湖南医科大学),第七章李笑英、于丽(天津医科大学),第八章、第九章奚达宝、顾国耀(上海第二医科大学),第十章仇佩虹(温州医学院),第十一章谢吉民、陈敏(镇江医学院),第十二章庞茂林(张家口医学院),第十三章邓长贵(蚌埠医学院),第十四章仇佩虹(温州医学院),第十五章谢吉民(镇江医学院)编写。

本书第一版主编南京医科大学丁绪亮教授任本书主审。丁教授始终关怀本书的编写,对内容的取舍、文字的表达及理论问题的确切性等多方面都作了原则和详尽的指导。在此,我们由衷感谢。

本书的出版得到各参编院校领导和东南大学出版社的大力支持,我们在此一并致以衷心感谢。

由于编者水平所限,书中疏漏和不妥之处在所难免,恳请各位师生提出宝贵意见和建议,以便再版时改进。

编者

1997 年 2 月

目 录

绪论	(1)
第一章 溶液和胶体溶液	(3)
第一节 溶液组成量度的表示方法	(3)
一、物质的量和物质的量浓度	(3)
二、质量摩尔浓度和摩尔分数	(5)
三、溶液组成量度的其它常用表示法	(5)
第二节 物质的溶解度	(6)
一、固体物质的溶解度	(6)
二、气体物质的溶解度	(6)
三、分配定律	(8)
第三节 稀溶液的依数性	(10)
一、溶液的蒸气压下降	(10)
二、溶液的沸点升高与凝固点降低	(13)
三、溶液的渗透压	(15)
四、稀溶液的依数性	(17)
第四节 渗透压在医学上的意义	(17)
一、等渗、低渗和高渗	(17)
二、渗透浓度	(18)
三、晶体渗透压和胶体渗透压	(19)
第五节 胶体溶液	(20)
一、界面现象和乳状液	(20)
二、溶胶的性质	(22)
三、胶团的结构	(23)
四、溶胶的稳定性	(24)
五、高分子化合物溶液	(24)
六、凝胶	(25)
第二章 电解质溶液与离子平衡	(27)
第一节 强电解质溶液理论	(27)
一、离子相互作用理论	(27)
二、离子的活度和活度系数	(28)
三、离子强度与离子活度系数的关系	(28)
第二节 酸碱理论	(29)
一、酸碱理论的发展	(29)
二、酸碱质子理论	(30)
三、酸碱电子理论	(33)
第三节 水溶液中的质子转移平衡及有关计算	(34)

一、水的质子自递作用和溶液的 pH 值	(34)
二、酸碱在水溶液中的质子转移平衡及有关计算	(35)
第三章 沉淀溶解平衡	(46)
第一节 溶度积	(46)
一、溶度积常数	(46)
二、溶度积和溶解度的相互换算	(46)
三、溶度积规则	(47)
四、同离子效应和盐效应	(48)
第二节 沉淀的生成	(49)
一、加入沉淀剂	(49)
二、控制溶液的 pH 值	(49)
第三节 分步沉淀和沉淀的转化	(51)
一、分步沉淀	(51)
二、沉淀的转化	(52)
第四节 沉淀的溶解	(53)
一、生成弱电解质	(54)
二、氧化还原反应	(55)
三、生成配合物	(55)
第四章 缓冲溶液	(56)
第一节 缓冲溶液的基本概念	(56)
一、缓冲作用	(56)
二、缓冲作用原理	(56)
三、缓冲对	(57)
第二节 缓冲溶液 pH 值的计算	(57)
一、缓冲公式	(57)
二、计算缓冲溶液 pH 值的实例	(59)
三、缓冲公式的校正	(60)
第三节 缓冲容量	(61)
一、缓冲容量	(61)
二、影响缓冲容量的因素	(62)
第四节 缓冲溶液的配制	(64)
第五节 缓冲溶液在医学上的意义	(70)
第五章 化学反应中的能量变化	(72)
第一节 基本概念和术语	(72)
一、体系和环境	(72)
二、体系的性质	(72)
三、状态和状态函数	(72)
四、过程和途径	(73)
五、热和功	(73)
第二节 化学反应的热效应	(74)

一、能量守恒定律	(74)
二、化学反应热效应和焓变	(74)
三、热化学方程式	(75)
四、盖斯定律	(76)
五、化学反应热的计算	(76)
第三节 化学反应的方向和限度	(79)
一、自发过程与热力学第二定律	(79)
二、熵与孤立体系变化的方向和限度	(80)
三、自由能与化学反应的方向和限度	(82)
第四节 自由能变与化学平衡常数	(85)
一、实验平衡常数和标准平衡常数	(85)
二、自由能变与标准平衡常数	(86)
三、温度对标准平衡常数的影响	(88)
第六章 化学反应速率	(91)
第一节 化学反应速率及其表示方法	(91)
第二节 化学反应速率理论	(92)
一、有效碰撞理论和活化能	(92)
二、过渡状态理论简介	(94)
第三节 浓度对化学反应速率的影响	(95)
一、基元反应和复杂反应	(95)
二、质量作用定律	(95)
三、反应级数与反应分子数	(96)
四、一级、二级及零级反应的特征	(99)
第四节 温度对反应速率的影响	(102)
一、范特霍夫规则	(102)
二、阿仑尼乌斯方程式	(102)
第五节 催化剂对化学反应速率的影响	(103)
一、催化剂与催化作用	(103)
二、均相催化	(104)
三、多相催化	(105)
四、生物催化剂——酶	(106)
第七章 氧化还原与电极电势	(108)
第一节 氧化还原反应基本概念	(108)
一、氧化还原反应	(108)
二、氧化值	(108)
三、氧化还原反应式的配平	(110)
第二节 电极电势	(111)
一、原电池	(111)
二、电极电势的产生	(112)
三、标准电极电势	(113)
四、标准电极电势表及其应用	(114)

五、电池电动势与自由能变的关系	(117)
第三节 影响电极电势的因素	(118)
一、能斯特方程式	(118)
二、影响电极电势的因素及有关计算	(119)
三、电极的类型	(120)
第四节 电极电势和电池电动势的应用	(122)
一、判断氧化还原反应进行的方向	(122)
二、判断氧化还原反应进行的限度	(124)
三、计算溶度积常数	(126)
第五节 元素电势图	(126)
一、元素的电势图	(126)
二、元素电势图的应用	(127)
第八章 原子结构	(131)
第一节 氢原子结构	(131)
一、氢原子光谱和玻尔理论	(131)
二、微观粒子的波粒二象性	(133)
三、氢原子的核外电子运动状态	(135)
第二节 多电子原子结构和元素周期表	(142)
一、多电子原子的能级	(142)
二、核外电子排布规则	(143)
三、原子的电子层结构和元素周期表	(145)
第三节 元素性质的周期性 ¹ 与原子结构的关系	(147)
一、原子半径	(147)
二、电离能	(148)
三、电子亲合能	(149)
四、元素的电负性	(150)
第九章 分子结构	(152)
第一节 离子键和离子化合物	(152)
一、离子键的形成	(152)
二、离子的特征	(152)
三、离子的极化	(154)
第二节 共价键和共价化合物	(155)
一、现代价键理论	(156)
二、键参数	(159)
三、杂化轨道理论	(161)
四、分子轨道理论	(166)
五、价键轨道理论简介	(173)
第三节 分子间的作用力和氢键	(174)
一、分子的极性	(174)
二、分子间的作用力	(175)
三、氢键	(176)

第十章 s 区元素	(180)
第一节 氢	(180)
一、单质	(180)
二、氢化物	(180)
第二节 碱金属、碱土金属	(182)
一、碱金属和碱土金属的通性	(182)
二、重要的化合物	(183)
第三节 焰色反应	(188)
第四节 水的硬度与净化	(188)
一、硬度及其表示法	(188)
二、水质净化的方法	(189)
第五节 s 区元素在医学检验中的一些应用	(190)
第十一章 p 区元素	(193)
第一节 p 区元素概述	(193)
第二节 卤素	(194)
一、卤素的通性	(194)
二、卤素单质的性质	(195)
三、氢卤酸、卤化物	(196)
四、卤素的含氧酸及其盐	(199)
五、类卤素	(201)
第三节 氧族元素	(202)
一、氧族元素的通性	(202)
二、氧、臭氧、过氧化氢	(203)
三、硫化氢、硫化物	(205)
四、硫的含氧化合物	(206)
第四节 氮族元素	(210)
一、氮族元素的通性	(210)
二、氮的氢化物	(211)
三、氮的含氧化合物	(213)
四、磷的化合物	(215)
五、砷、锑、铋的化合物	(219)
第五节 碳族元素	(220)
一、碳的氧化物	(220)
二、碳酸及其盐	(221)
三、二氧化硅、硅酸及其盐	(222)
四、锡、铅的化合物	(223)
第六节 硼族元素	(224)
一、硼的化合物	(225)
二、铝及其化合物	(227)
第七节 p 区元素在医学检验中的一些应用	(228)

第十二章 配位化合物	(230)
第一节 配位化合物的基本概念	(230)
一、配位化合物的定义	(230)
二、配位化合物的组成	(231)
三、配位化合物的命名和分类	(232)
四、配位化合物的几何异构现象	(234)
第二节 配位化合物的化学键理论	(234)
一、配位化合物的价键理论	(235)
二、配位化合物的晶体场理论	(238)
第三节 配位平衡	(243)
一、配离子的稳定常数	(243)
二、配位平衡的移动	(244)
三、稳定常数的应用	(245)
第四节 螯合物	(248)
第五节 配位化合物的应用	(250)
第十三章 d 区元素	(253)
第一节 d 区元素的通性	(253)
一、原子半径	(253)
二、过渡元素的物理性质	(254)
三、过渡元素的氧化态及其稳定性	(254)
四、过渡元素水合离子的颜色	(255)
五、过渡元素的还原性	(255)
六、过渡元素的配合物	(256)
第二节 铬、钼、钨	(256)
一、铬的化合物	(256)
二、钼和钨的化合物	(259)
第三节 锰	(260)
一、锰(II)的化合物.....	(261)
二、锰(IV)的化合物.....	(261)
三、锰(VI)和锰(VII)的化合物.....	(262)
第四节 铁、钴、镍	(262)
一、铁、钴、镍的氧化物和氢氧化物.....	(263)
二、铁、钴、镍的盐.....	(264)
三、铁、钴、镍的配合物.....	(265)
第五节 铂系元素简介	(267)
一、氯铂酸及其盐	(267)
二、二氯二氨合铂(II).....	(267)
三、二氯化钯	(268)
第六节 铜、银、金	(268)
一、铜、银的氧化物和氢氧化合物	(269)

二、铜、银的重要盐类	(271)
第七节 锌、镉、汞	(272)
一、单质	(273)
二、重要的化合物	(274)
第八节 <i>d</i> 区元素在医学检验中的一些应用	(276)
第十四章 镧系、锕系、稀有气体	(279)
第一节 镧系元素	(279)
一、概述	(279)
二、镧系元素的化合物	(280)
三、镧系元素在医药中的应用	(281)
第二节 锕系元素	(282)
一、概述	(282)
二、铀的重要化合物	(283)
第三节 稀有气体	(284)
一、稀有气体的性质和用途	(284)
二、稀有气体的化合物	(285)
第十五章 生物学和医学中的化学元素	(286)
第一节 生命元素	(286)
一、人体内元素的组成及分类	(286)
二、一些生命元素的生物功能	(288)
第二节 污染元素	(290)
一、工业污染金属元素	(290)
二、生命元素过量时的毒害	(292)
第三节 化学元素的致癌与抗癌作用	(293)
一、化学元素的致癌作用	(294)
二、化学元素的抗癌作用	(294)
附录	(296)
附录一 国际单位制	(296)
附录二 常用的物理常数	(298)
附录三 平衡常数	(299)
附录四 一些物质的基本热力学数据	(304)
附录五 标准电极电势	(307)
附录六 国际相对原子量表(1983 年)	(309)

绪 论

一、化学研究的对象和目的

整个自然界是独立于人们意识之外而并不以人们的意识为转移的客观存在,即世界是物质的。一切自然科学都以客观存在的物质世界作为考察和研究对象。

客观存在的物质可分为实物和场两种基本存在形式。具有静质量和体积的物质称为实物(substance)。大至天体,小至化学研究的微观粒子,如原子、分子、电子以及单质、化合物等,都是实物。不具有静质量和体积的物质称为场(field),如引力场、原子核内力场等。化学(chemistry)以实物为主要研究对象。

自然界中的一切物质都是处于永恒的运动、变化和发展的状态之中。因此,运动是整个物质所固有的属性,化学主要是研究运动的化学形式。

化学是研究物质的组成、结构、性质及其变化规律和变化过程中能量关系的科学。简言之,化学是研究物质变化的科学。它通过实验观察来认识物质的变化规律,并将这些规律应用于科学技术的发展,以达到认识自然、利用自然和改造自然的目的。化学与我们社会主义建设的关系极大,无论在实现科技现代化方面,还是在提高人民物质生活水平和满足人民精神生活的需要方面,都起着重大的作用。

化学研究的范围非常广泛,根据其研究对象和目的之不同,建立了以下四大分支:

无机化学:研究所有元素的单质及其化合物(碳氢化合物及其衍生物除外);

有机化学:研究碳氢化合物及其衍生物;

分析化学:研究测定物质组成及其含量的方法和原理;

物理化学:应用物理学的原理和实验方法研究物质化学变化的规律。

由于各学科之间的互相渗透,上述四大分支又发生很大的演变,出现一些边缘学科和应用学科,如生物化学、核化学、环境化学、农业化学等等。另外,原有四大分支中的某些内容又发展成为一些独立的分支,如热力学、胶体化学、电化学、配位化学、结构化学等。目前,由于各门化学的分化和综合的加快发展,出现了分支越来越细的边缘学科,特别是现代化学与生物学的迅速发展,相互交叉,又出现了分子生物学、细胞化学、分子遗传学、化学仿生学等。这是生产发展和人类认识自然的必然趋势。

无机化学是化学科学中发展最早的一个分支。它研究所有元素的单质和除碳氢化合物以外的其它化合物的组成、结构、性质、反应和应用。和其它分支一样,当前无机化学正从基本是描述性的科学向推理性的科学过渡,从主要是定性的科学向定量的科学发展,从宏观结构理论向微观结构理论深入,一个比较完整的理论化的、定量化的和微观化的现代无机化学体系正在迅速建立起来。

近 20 多年来,由于其它化学分支对无机化学的渗透和影响,大大开拓了无机化学的研究内容。目前,无机化学已经深入到固体无机化学、原子簇化学、新型材料无机化学、能源化学、

金属有机化学、生物无机化学等领域。因此,无机化学正在推动着这些学科的发展。

二、化学与医学检验专业的关系

医学是探讨人体生理现象和病理现象的规律,从而寻找防病治病方法,以保护人类健康的科学。而人体又是由许多物质如糖、脂肪、蛋白质、无机盐和水等所组成的。人体内的一切生理现象和病理现象都与化学变化息息相关。因此,要掌握现代医学的基本理论,必须具有一定的化学知识。

在医学的许多领域里,化学都是不可缺少的工具。对于临床检验、卫生检验、环境保护、生命科学、药物治疗以及天然药物中有效成分的提取和合成等,都与化学密切相关。例如,空气和水中的痕量有害成分的监测,农药残留量的分析,药物及其代谢物的监测和体液中蛋白质、酶、核酸、激素、痕量元素等的测定和分析都离不开化学。

要学好医学检验基础课,必须具有扎实的化学基础知识。例如,运用化学原理和方法研究生物体的化学组成、物质代谢;与机体功能有关的生物化学是研究生命的化学,其中生物化学检验技术是运用生物学、物理学、化学的理论和方法来测定人体内各种体液的化学成分与含量,从而为疾病的诊断、治疗、预防提供依据。

环境保护监测技术是研究环境对机体的影响并寻找预防疾病措施的一门专业课。它要求对环境中的土壤、空气、食物、饮水进行检验,对三废、环境污染物进行监测,其中饮水分析、毒物检查、粉尘及有害气体分析等大部分是应用化学分析的方法。

综上所述,足见化学与检验专业有着密切的联系。要学好检验专业理论,掌握检验技术,以便在今后工作中有所创新和发明,必须具备足够的化学基础知识。

三、无机化学的内容及其学习方法

无机化学是学习检验专业的第一门化学课。它在检验专业中的任务和目的是:通过本课程的学习,使学生掌握必要的无机化学基本理论、基本知识和基本技能,了解这些理论和知识、技能在检验专业中的应用,为学习后续课程打下基础;培养学生分析和解决化学实际问题的能力,并使学生逐步树立辩证唯物主义观点和科学思维方法。

本课程的内容分为基础理论和元素化学两大部分。前者讲授无机化学的基础理论,主要讨论溶液、电解质及离子平衡、化学反应速率、化学平衡及化学反应中的能量关系、物质结构理论、配位化合物、电化学和有关计算等。后者讲授元素周期表中 *s*、*p*、*d*、*f* 各区中重要元素的单质及化合物的知识。本书末章还介绍了生物学和医学中的化学元素。

化学是一门以实验为基础的学科,通过实验教学,不仅使学生掌握有关实验的基本操作和技能,而且还要培养学生观察实验现象、正确记录结果和处理所得数据的能力,还要培养学生严谨的科学态度,提高学生的科研能力。

总之,在整个教学过程中,要求学生刻苦钻研,弄清概念,力求融会贯通,切忌死记硬背。要善于发现问题和提出问题,并学会利用各种参考资料,运用所掌握的理论 and 知识去分析和解决实际问题。

第一章 溶液和胶体溶液

人们通常把具体的研究对象称为体系,对体系中物理、化学性质相同的部分称为一个相。一种或几种物质分散在另一种物质中所形成的体系称为分散系。其中,被分散的物质称为分散相,而容纳分散相的连续介质则称为分散介质。

分散系可分为均相与非均相两类。均相分散系有低分子真溶液和高分子(即大分子)溶液;非均相分散系有溶胶和粗分散系。

分散系按其分散相粒子线径大小不同可分为分子分散系、胶体分散系和粗分散系三类(见表 1-1)。

表 1-1 分散系的分类

分散相 粒子大小(nm)	分散系类型	分散相粒子的组成	一般性质	实 例
<1	真溶液(溶液)	低分子或离子	均相;热力学稳定体系;分散相粒子扩散快,能透过滤纸和半透膜;形成真溶液	NaCl、NaOH、 $C_6H_{12}O_6$ 等水溶液
1~100	溶胶	胶粒(分子、离子、原子的聚集体)	非均相;热力学不稳定体系;分散相粒子扩散慢,能透过滤纸,不能透过半透膜	氢氧化铁、硫化砷、碘化银及金、银、硫等溶胶
	高分子溶液	高分子	均相;热力学稳定体系;分散相粒子扩散慢,能透过滤纸,不能透过半透膜;形成溶液	蛋白质、核酸等水溶液、橡胶的苯溶液
	缔合胶体	胶束	均相;热力学稳定体系;分散相粒子扩散慢,能透过滤纸,不能透过半透膜;形成胶束溶液	超过一定浓度的十二烷基磺酸钠溶液
>100	粗分散系(乳状液、悬浊液)	粗粒子	非均相;热力学不稳定体系;分散相粒子不能透过滤纸和半透膜	乳汁、泥浆等

溶液是物质(溶质)以分子(或离子、原子)状态分散在另一种物质(溶剂)中所形成的均匀而稳定的体系。广泛地说,溶液可分为固体溶液(如合金)、气体溶液(如空气)和液体溶液。最常见的是液体溶液,其中,最重要的溶剂是水,通常不指明溶剂的溶液即是水溶液。

第一节 溶液组成量度的表示方法

一、物质的量和物质的量浓度

(一) 物质的量及其单位——摩尔

物质的量(amount of substance)是 1971 年第十四届国际计量大会决定作为 SI 制的一个

基本物理量,用来表示物质数量的多少,常用符号 n 表示。它的基本单位是摩尔(mole),符号为 mol。它的定义为: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。基本单元可以是分子、原子、离子等各种微观粒子,或这些粒子的特定组合。 $0.012\text{ kg}^{12}\text{C}$ 中含有 6.023×10^{23} 个碳原子,这个数称为阿佛加德罗(Avogadro)常数。所以,1 mol 是 6.023×10^{23} 个微粒的集体。若某物系中所含基本单元数是阿佛加德罗常数的多少倍,则该物系中“物质的量”就是多少摩尔。在使用摩尔这个单位时,必须同时指出其基本单元,并用粒子的符号、物质的化学式或它们的特定组合加以表示。例如:1 mol(H_2),指的是基本单元为 H_2 ;1 mol(H),指的是基本单元为 H ;1 mol(SO_4^{2-}),指的基本单元是 SO_4^{2-} 离子;1 mol($\text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2$)其基本单元是 $\text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2$ 的特定组合。括号中的符号表示物质的基本单元。

摩尔是“物质的量”的单位,不是物质的质量(mass)单位。由于摩尔是一个数量单位,一定数量的物质必然具有一定的质量。1 mol 物质的质量称为摩尔质量,用符号 M 表示,单位为 $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。任何原子、分子或离子的摩尔质量,当单位为 $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 时,数值上正好等于其原子量、分子量或离子式量,例如, H_2SO_4 的摩尔质量为 $98\text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。因此,若某物系的质量用 m 表示,则该物系“物质的量” n 为

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

摩尔与其它计量单位一样,加上 SI 词头也可构成十进倍数单位,例如毫摩尔(mmol)、微摩尔(μmol)等。还应指出,“物质的量”是一个专有名词,不可与质量相混淆。

(二) 物质的量浓度

在法定计量单位中,浓度只是“物质的量浓度”的简称,物质的量浓度(amount of substance concentration)定义为:溶质 B 的物质的量除以溶液的体积,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 是溶质 B 的物质的量; V 是溶液的体积。

物质的量浓度的单位常用摩尔每立方米(符号为 $\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$),或用摩尔每升(符号为 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)、毫摩尔每升(符号为 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)、微摩尔每升(符号为 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)等。

在使用物质的量浓度时,必须指明物质 B 的基本单元,例如 $c(\text{HCl}) = 0.10\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(\text{Na}^+) = 0.010\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c\left(\frac{1}{5}\text{KMnO}_4\right) = 1\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 等。

在临床医学检验中,世界卫生组织已提议,凡是已知相对分子质量的物质,在人体内的含量统一用物质的量浓度表示。例如:每 100 ml 正常人的血液中,葡萄糖的含量过去表示成 70~100 mg%,法定计量单位则应表示为: $c(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 3.9 \sim 5.6\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$;人血清中 Fe^{3+} 的含量过去表示成 60~150 $\mu\text{g}/\text{dl}$,法定计量单位则应表示为: $c(\text{Fe}^{3+}) = 11 \sim 27\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 等等。对于相对分子质量不知道的物质,可用质量单位 g 或 mg 表示,其体积用升(L)表示。这类物质在体内的含量可表示成 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 或 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 等。

【例 1-1】 正常人每 100 ml 血浆中含葡萄糖 100mg、 HCO_3^- 165.2mg、 Ca^{2+} 10mg,问它们的物质的量浓度(用 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 表示)各为多少?

解:

$$c(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = \frac{100}{180} \times \frac{1000}{100} = 5.6 \text{ (mmol} \cdot \text{L}^{-1})$$

$$c(\text{HCO}_3^-) = \frac{165.2}{61.0} \times \frac{1000}{100} = 27 \text{ (mmol} \cdot \text{L}^{-1})$$

$$c(\text{Ca}^{2+}) = \frac{10}{40} \times \frac{1000}{100} = 2.5 \text{ (mmol} \cdot \text{L}^{-1})$$

二、质量摩尔浓度和摩尔分数

(一) 质量摩尔浓度

质量摩尔浓度(molality)定义为:溶质 B 的物质的量 n_B 除以溶剂 A 的质量 W_A ,即

$$m_B = \frac{n_B}{W_A} \quad (1-2)$$

式中 m_B 为溶质 B 的质量摩尔浓度,单位为 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

(二) 摩尔分数

摩尔分数(mole fraction、物质的量分数)定义为:某物质的物质的量除以混合物中各组分物质的量之和。若溶液由溶质 B 与溶剂 A 组成,则:

$$x_A = \frac{n_A}{n_A + n_B}, \quad x_B = \frac{n_B}{n_A + n_B} \quad (1-3)$$

式中 n_A 表示溶剂 A 的物质的量, n_B 表示溶质 B 的物质的量; x_A 为溶剂 A 的摩尔分数, x_B 为溶质 B 的摩尔分数。显然, $x_A + x_B = 1$

三、溶液组成量度的其它常用表示法

(一) 质量分数

物质 B 的质量分数(mass fraction)定义为:物质 B 的质量与混合物质量之比,用符号 W_B 表示。质量分数代替过去使用的重量百分浓度和重量比等非法定计量单位。如 98% H_2SO_4 , 用质量分数表示成 98×10^{-2} 或 0.98。

(二) 体积分数

物质 B 的体积分数(volume fraction)定义为物质 B 的体积与混合物的体积之比,用符号 φ_B 表示。用体积分数代替过去使用的体积百分浓度。

考虑到临床应用习惯,本教材仍保留使用%(g/ml)单位,例如,生理盐水,仍表示成 0.9%(g/ml 的 NaCl 溶液)。

【例 1-2】 在 500g 水中,加入密度为 $1.84\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、质量分数为 96×10^{-2} 的 H_2SO_4 100g,求此溶液的 $c(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 、 $x(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 和 $m(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 。

解: H_2SO_4 的摩尔质量为 $98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。