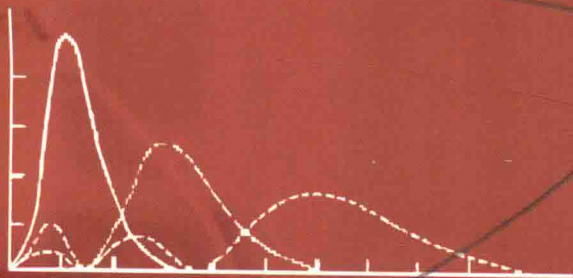


普通化学

General Chemistry

● 王建玲 李爱勤 主编



中国农业大学出版社

CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY PRESS

普通化学

王建玲 李爱勤 主编

中国农业大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书共 11 章,包括:溶液和胶体、原子结构与元素周期律、化学键与分子结构、化学热力学基础、化学动力学基础、化学平衡、酸碱平衡、沉淀溶解平衡、氧化还原反应、配位离解平衡、化学与生活等基本内容。本书循序渐进地介绍了化学的基本知识和基本理论,同时注重化学与工农业生产、生物等各方面的联系,加强了应用方面的介绍,强化了与后续课程的衔接,体现了农林院校化学教材的特色。本书内容简明扼要,通俗易懂,条理清晰,可作为农林、牧医、生物、水产、食品等本科生的普通化学教材,也可供其他相关专业的师生和化学爱好者参考。

图书在版编目(CIP)数据

普通化学/王建玲,李爱勤主编.—北京:中国农业大学出版社,2018.7

ISBN 978-7-5655-2066-2

I. ①普… II. ①王… ②李… III. ①普通化学-高等学校-教材 IV. ①O6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 166686 号

书 名 普通化学

作 者 王建玲 李爱勤 主编

策划编辑 赵 中

责任编辑 冯雪梅

封面设计 郑 川

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路 2 号

邮政编码 100193

电 话 发行部 010-62818525,8625

读者服务部 010-62732336

编辑部 010-62732617,2618

出版部 010-62733440

网 址 <http://www.caupress.cn>

E-mail cbsszs@cau.edu.cn

经 销 新华书店

印 刷 北京时代华都印刷有限公司

版 次 2018 年 8 月第 1 版 2018 年 8 月第 1 次印刷

规 格 787×1 092 16 开本 16.75 印张 418 千字 插页 1

定 价 45.00 元

图书如有质量问题本社发行部负责调换

编写人员

主 编 王建玲 李爱勤

副主编 丁德刚 马志伟

编 委(以姓氏笔画为序)

丁德刚 马志伟 王建玲 刘俊桃 刘志景
李爱勤 陈晓培 杨新玲 张荷丽 侯学会

前 言

普通化学是高等农林院校相关专业本科生的一门重要基础课,也是一门承前启后的重要化学基础理论课。它的任务是为后续化学课程、专业基础课和专业课提供必需的化学基础知识。随着科学的发展、社会的进步和教学的多元化,作为基础课的化学教学过程应该是全面培养和提高学生的认知、思维推理和创造能力的过程。本书是充分考虑农、林、牧各专业的培养需求以及农科生的实际水平,为了专业的需要及学生终生教育的发展,并根据全国高等农林院校普通化学教学基本要求而编写的。编者在长期教学经验的积累和教学改革研究基础上,具备了较丰富的教学经验,并经深入讨论和研究编写了本书。本书编写着重以下几个方面:

(1)本书编排顺序上遵循教育规律,主要以化学物质为主线讲述物质的存在状态、物质的微观结构、物质的化学变化的基本原理及应用,最后为了加强学生对化学学科的全面认识,融入了化学对于人类社会的作用与贡献,体现化学与农业的联系及应用,以提高学生的学习兴趣,同时注重教材内容与中学化学课程相衔接。

(2)基本理论、基本概念的叙述,力求做到简明扼要,通俗易懂,尽量避免公式的冗长推导和解释,部分内容只做科普性叙述,强调理论应用。

(3)注意化学学科发展的新动向,力求用新的观点对概念和理论进行定义和叙述。

(4)加强教材的导读功能,使教材更便于教学。

(5)充分考虑高校扩招形势下大多数学生的基础和接受能力,在满足教学基本要求的前提下,适当增加了一些化学在生物学和农业等方面应用的内容,体现了农林院校化学教材的特色。

全书共 11 章,由河南牧业经济学院王建玲(第 9 章、第 10 章 10.1,10.2,10.3)、李爱勤(第 7 章)任主编,丁德刚(第 2 章、第 3 章)、马志伟(第 4 章、第 11 章)任副主编,参加编写的还有:河南牧业经济学院杨新玲(第 6 章)、刘俊桃(第 1 章、第 5 章)、刘志景(第 8 章)、张荷丽(第 10 章 10.4)、侯学会(附录 1~4)、陈晓培(附录 5~9)。全书由王建玲修改、定稿,主编和副主编校稿。

本书编写历时 3 年完成,在编写过程中得到了河南牧业经济学院教务处和教材科的大力支持与帮助,也得到了中国农业大学出版社的大力支持和帮助,同时参阅了大量的文献资料,并引用了部分文献的图表,在此表示衷心的感谢。另外,编写过程中河南牧业经济学院童岩教授做了大量的协助工作,也得到了相关专业教师的帮助,在此一并致谢。

由于编者水平有限,书中难免有不尽如人意之处,恳请同行专家和读者就书中存在的不妥之处提出批评和建议,编者对此表示诚挚的谢意。

编 者

2018 年 5 月

目 录

第 1 章 溶液和胶体	1
1.1 分散系	1
1.2 溶液	2
1.2.1 溶液组成标度	2
1.2.2 等物质的量规则	5
1.3 稀溶液的依数性	6
1.3.1 溶液的蒸气压下降	6
1.3.2 溶液的沸点升高	8
1.3.3 溶液的凝固点下降	9
1.3.4 溶液的渗透压	11
1.3.5 稀溶液依数性的应用	13
1.4 胶体.....	14
1.4.1 胶体的制备	14
1.4.2 溶胶的一般性质	15
1.4.3 溶胶的形成和胶团结构	17
1.4.4 溶胶的稳定性与聚沉	17
1.5 高分子溶液、凝胶、乳浊液.....	18
1.5.1 高分子溶液	18
1.5.2 凝胶	19
1.5.3 乳浊液	20
1.6 表面活性剂.....	21
1.6.1 表面活性剂的结构特点及分类	21
1.6.2 表面活性剂的作用	22
第 2 章 原子结构与元素周期律	26
2.1 原子结构理论的发展概况.....	26
2.1.1 原子的有核模型	27
2.1.2 氢原子光谱	27
2.1.3 玻尔模型	28
2.2 微观粒子运动的特征.....	30
2.2.1 微观粒子的波粒二象性	30
2.2.2 测不准原理	31
2.2.3 微观粒子运动的统计规律	31

2.3	核外电子运动状态的量子力学描述	32
2.3.1	薛定谔方程	32
2.3.2	波函数与原子轨道	33
2.3.3	概率密度和电子云	34
2.3.4	四个量子数	34
2.3.5	原子轨道和电子云的图像	36
2.4	核外电子的排布	39
2.4.1	多电子原子的能级	39
2.4.2	核外电子排布的规则	41
2.5	元素周期律	43
2.5.1	元素周期表	43
2.5.2	原子结构与元素性质的关系	44
第3章	化学键与分子结构	52
3.1	离子键理论	52
3.1.1	离子键的形成	52
3.1.2	离子键的特点	53
3.1.3	离子键的强度	53
3.1.4	离子特征	54
3.2	共价键理论	55
3.2.1	共价键的本质和特点	55
3.2.2	共价键的键型	57
3.2.3	键参数	58
3.3	杂化轨道理论	59
3.3.1	杂化轨道理论基本要点	59
3.3.2	杂化轨道的类型和分子空间构型	59
3.4	价层电子对互斥理论	63
3.4.1	价层电子对互斥理论基本要点	63
3.4.2	判断分子几何构型的一般原则及应用实例	63
3.5	分子间力和氢键	66
3.5.1	键的极性和分子的极性	66
3.5.2	分子间力	67
3.5.3	氢键	68
3.6	晶体结构简介	69
3.6.1	晶体的基本特征	69
3.6.2	晶体的基本类型及物性比较	70
第4章	化学热力学基础	74
4.1	热力学基础知识	74
4.1.1	系统和环境	74
4.1.2	状态和状态函数	75

4.1.3	过程和途径	75
4.1.4	热力学标准状态	75
4.1.5	热力学能、功、热	76
4.1.6	热力学第一定律	76
4.2	热化学	77
4.2.1	化学反应的热效应	77
4.2.2	焓和焓变	78
4.2.3	热化学反应方程式	79
4.2.4	盖斯定律	80
4.2.5	标准摩尔生成焓	81
4.2.6	标准摩尔燃烧焓	83
4.3	化学反应的方向	84
4.3.1	自发过程	84
4.3.2	熵的初步概念	85
4.3.3	吉布斯自由能和吉布斯自由能变	86
4.3.4	标准摩尔吉布斯自由能变	87
4.3.5	吉布斯-赫姆霍兹方程	88
4.3.6	化学反应等温方程式	89
第5章	化学动力学基础	95
5.1	化学反应速率的基本概念	95
5.1.1	化学反应速率的表示	95
5.1.2	反应机理	97
5.2	化学反应速率理论简介	98
5.2.1	有效碰撞理论	98
5.2.2	过渡态理论	99
5.3	浓度对反应速率的影响	100
5.3.1	质量作用定律和基元反应的速率方程	100
5.3.2	非基元反应的速率方程	101
5.3.3	反应级数	101
5.4	温度对反应速率的影响	103
5.4.1	范特霍夫规则	103
5.4.2	阿伦尼乌斯公式	104
5.5	催化剂对反应速率的影响	106
5.5.1	催化剂与催化作用	106
5.5.2	催化剂的特点	107
5.5.3	催化作用原理	107
5.5.4	催化反应类型	108

第 6 章 化学平衡	112
6.1 化学平衡状态	112
6.1.1 可逆反应	112
6.1.2 化学平衡	113
6.1.3 标准平衡常数	113
6.1.4 化学平衡与吉布斯自由能变	115
6.1.5 化学平衡的计算	116
6.2 化学平衡的移动	117
6.2.1 浓度对化学平衡的影响	118
6.2.2 压力对化学平衡的影响	119
6.2.3 温度对化学平衡的影响	120
第 7 章 酸碱平衡	123
7.1 酸碱理论	123
7.1.1 酸碱质子理论	124
7.1.2 酸碱电子理论	125
7.2 水的质子自递反应和水溶液的酸碱性	126
7.2.1 水的质子自递反应	126
7.2.2 水溶液的酸碱性	126
7.3 水溶液的酸碱平衡	127
7.3.1 一元弱酸(碱)的解离平衡	127
7.3.2 多元弱酸(碱)的解离平衡	130
7.3.3 两性物质水溶液的酸碱性	132
7.3.4 酸碱平衡的移动	133
7.4 缓冲溶液	135
7.4.1 缓冲溶液和缓冲作用原理	135
7.4.2 缓冲溶液 pH 的计算	136
7.4.3 缓冲能力和缓冲范围	137
7.4.4 缓冲溶液的配制	138
7.4.5 缓冲溶液的应用	140
7.5 强电解质溶液简介*(选学)	141
7.5.1 表观解离度	141
7.5.2 活度和活度系数	141
第 8 章 沉淀溶解平衡	145
8.1 难溶电解质的溶度积	145
8.1.1 溶度积	145
8.1.2 溶度积的计算及其与溶解度的换算	146
8.2 溶度积规则	148
8.3 沉淀的生成	149
8.3.1 沉淀生成的条件	149

8.3.2	沉淀完全	150
8.3.3	分步沉淀	152
8.3.4	沉淀的转化	153
8.4	沉淀的溶解	154
8.4.1	利用酸碱反应	154
8.4.2	利用氧化还原反应	156
8.4.3	利用配位反应	156
8.5	分步沉淀在金属离子分离中的应用	157
8.5.1	氢氧化物沉淀分离法	157
8.5.2	硫化物沉淀分离法	158
8.5.3	共沉淀分离法	159
第9章	氧化还原反应	163
9.1	氧化还原反应的基本概念	163
9.1.1	氧化数	163
9.1.2	氧化还原电对	164
9.1.3	氧化还原反应方程式的配平	164
9.2	原电池与电极电势	167
9.2.1	原电池	167
9.2.2	电极电势	170
9.3	影响电极电势的因素	172
9.3.1	能斯特方程	172
9.3.2	浓度对电极电势的影响	173
9.3.3	酸度对电极电势的影响	173
9.3.4	沉淀反应及配位反应对电极电势的影响	174
9.4	电极电势的应用	175
9.4.1	判断氧化剂、还原剂的相对强弱	175
9.4.2	判断氧化还原反应进行的方向	175
9.4.3	选择合适的氧化剂和还原剂	176
9.4.4	判断氧化还原反应进行的程度	177
9.4.5	判断氧化还原反应的次序	177
9.4.6	元素电势图及其应用	178
第10章	配位离解平衡	182
10.1	配位化合物的基本概念	182
10.1.1	配合物的定义	182
10.1.2	配合物的组成	183
10.1.3	配位化合物的命名	185
10.1.4	螯合物	186
10.2	配位化合物的价键理论	187
10.2.1	价键理论的要点	187

10.2.2	配位化合物的形成及空间构型	188
10.2.3	内轨型和外轨型配合物	190
10.3	配位平衡	191
10.3.1	配离子的稳定常数	191
10.3.2	配位平衡的计算	192
10.3.3	配位平衡的移动	193
10.4	配合物的应用	196
10.4.1	配合物在分析化学中的应用	196
10.4.2	配合物在生命科学中的作用	197
10.4.3	配合物在工业生产中的应用	197
第 11 章	化学与生活	201
11.1	人体的组成元素与健康	201
11.1.1	常量元素	201
11.1.2	微量元素	203
11.1.3	有害元素	205
11.2	食品中的化学	206
11.2.1	我国食品质量安全及存在的形势	207
11.2.2	食品中的化学元素	208
11.2.3	食品添加剂	210
11.2.4	绿色食品	212
11.3	丰富多彩的生活材料	214
11.3.1	五光十色的无机颜料	214
11.3.2	生物无机化学产品	216
11.3.3	功能材料	217
11.4	化学肥料	219
11.4.1	现代农业与化学肥料	219
11.4.2	化肥的科学施用	224
11.5	环境污染与防治	225
11.5.1	大气污染及防治	226
11.5.2	水污染及其防治	231
11.5.3	土壤污染及其防治	234
附 录	238
附录 1	国际单位制(SI)基本单位	238
附录 2	常见的物理常数	238
附录 3	一些物质的标准摩尔燃烧焓(298.15 K)	238
附录 4	常见物质的 $\Delta_f H_m^\ominus$ 、 $\Delta_f G_m^\ominus$ 、 S_m^\ominus (298.15 K)	239
附录 5	一些常见弱酸、弱碱在水中的标准解离常数 K^\ominus (298.15 K)	245
附录 6	常见难溶电解质的溶度积 K_{sp}^\ominus (298.15 K)	246
附录 7	标准电极电势表(298.15 K)	247

附录 8 一些配离子的稳定常数(298.15 K)	251
附录 9 一些化合物的相对分子质量	252
参考文献	254
元素周期表	255

第 1 章 溶液和胶体

【教学目标】

- (1) 了解分散系的分类。
- (2) 掌握溶液组成标度的表示方法及相互换算、溶液的配制方法。
- (3) 掌握稀溶液依数性及其计算,了解稀溶液依数性的应用。
- (4) 熟悉溶胶的结构、性质、稳定性及聚沉。
- (5) 了解表面活性剂的结构和应用。

1.1 分散系

一种或几种物质(称为分散相 disperse phase)的粒子分散到另一种物质(称为分散介质 disperse medium)中所形成的体系称为分散系统,简称分散系(disperse system)。例如黏土分散在水中成为泥浆,水滴分散在空气中成为云雾,奶油、蛋白质和乳糖分散在水中成为牛奶,这些都是分散系,其中,黏土、水滴、奶油、蛋白质、乳糖等是分散相;水、空气就是分散介质。按照分散相被分散的程度,即分散相粒子的大小,分散系大致可以分为三类,见表 1-1。

表 1-1 按分散质粒子直径大小分类的分散系及特征

类型	粒子直径/nm	分散系名称	主要特征	
分子、离子分散系	<1	真溶液	最稳定,扩散快,能透过滤纸及半透膜,对光散射极弱	单相体系
胶体分散系	1~100	高分子溶液	很稳定,扩散慢,能透过滤纸及半透膜,对光散射极弱,黏度大	
		溶胶	稳定,扩散慢,能透过滤纸,不能透过半透膜,光散射强	多相体系
粗分散系	>100	乳状液、悬浊液	不稳定,扩散慢,不能透过滤纸及半透膜,无光散射	

1. 分子、离子分散系

在分子、离子分散系中,分散相粒子的直径小于 10^{-9} m,相当于单个分子或离子的大小。此时,分散相与分散介质形成均一的相,属单相体系。物质以分子或离子形式分散于分散剂中形成的稳定体系叫溶液(solution)。例如,氯化钠或蔗糖溶于水后形成的真溶液。真溶液是均相热力学系统,澄清透明,对光散射极弱。分散相粒子即溶质扩散快,能透过滤纸和半透膜。在显微镜下看不见分散相粒子。

2. 胶体分散系

在胶体分散系(colloidal disperse system)中,分散相粒子的直径在 $10^{-9} \sim 10^{-7}$ m 范围内,比普通的单个分子大很多,是众多分子或离子的集合体。胶体分散系包括溶胶(collosol)和高分子化合物溶液(polymer solution)两种类型,虽然用眼睛或普通显微镜观察时,这种体系是透明的,与真溶液差不多,但实际上分散相与分散介质已不是一相,存在相界面。也就是说,胶体分散系是高度分散的多相体系。

在溶胶分散系中,如氢氧化铁溶胶、硫化砷溶胶、碘化银溶胶、金溶胶,分散质粒子是许多分子的聚集体,难溶于分散剂。溶胶中,分散质和分散剂的亲和力不强,不均匀,有界面,故溶胶是高度分散、不稳定的多相体系。由于亲和力不强,故又称为憎液溶胶(lyophobic solution)。在 高分子化合物溶液体系中,分散质粒子是单个的高分子(如淀粉溶液、纤维素溶液、蛋白质溶液等),与分散剂的亲和力强,故高分子溶液是高度分散、稳定的单相体系。高分子溶液在某些性质上与溶胶相似。由于高分子粒子与溶剂的亲和力强,故又称为亲液溶胶(lyophilic solution)。

3. 粗分散系

在粗分散系中,分散相粒子的直径在 $10^{-7} \sim 10^{-5}$ m 范围内,放置后沉淀或分层,用普通显微镜甚至用眼睛直接观察已能分辨出是多相体系。按分散质的聚集状态不同,粗分散系又可分为两类:一类是液体分散质分散在液体分散剂中,称为乳状液(emulsion),如牛奶。另一类是固体分散质分散在液体分散剂中,称为悬浊液(suspension),如泥浆。由于粒子大,容易聚沉,分散质也容易从分散剂中分离出来,因此粗分散系是极不稳定的多相体系。粗分散系统浑浊不透明,分散相粒子不扩散,不能透过滤纸和半透膜。

应当指出,同一物质在不同分散介质中分散时,由于分散相粒子大小不同,可以成为分子、离子分散系,也可以成为胶体分散系,当然也可以成为粗分散系。例如氯化钠在水中是真溶液,但用适当的方法分散在乙醇中可以制得胶体分散系。

1.2 溶 液

一般来说,分散相粒子的线性大小小于 10^{-9} m 时的分散系称为溶液。在溶液这一分散系中,被分散的物质称为溶质,分散物质称为溶剂。广义上讲,溶液可分为三种,即固态溶液(如合金)、气态溶液(如围绕地球的大气层)和液态溶液。通常我们所说的溶液指液态溶液。水是最常见的溶剂,本节主要介绍液态溶液中的水溶液,简称溶液。

1.2.1 溶液组成标度

在一定的溶剂或溶液中,所含溶质的量称为溶液的浓度。溶液的性质常与溶液的浓度有关。表示溶液浓度的方法有多种,下面介绍化学上几种常用的表示方法,其中用 A 表示溶剂,用 B 表示溶质。

1. B 的物质的量浓度

B 的物质的量浓度(amount of substance concentration of B)是指单位体积溶液中所含溶质 B 的物质的量,用符号 c_B 表示:

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

式中, n_B 为溶质 B 的物质的量, SI 单位为 mol; V 为溶液的总体积, SI 单位为 m^3 ; c_B 的 SI 单位为 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$, 常用单位为 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

注意: 由物质的量和摩尔的定义可知: 凡是使用与摩尔有关的单位时, 一定要注明基本单元。基本单元可以是分子、原子、离子、电子及其他微观粒子, 或是这些粒子的特定组合。

基本单元的选择是任意的, 它既可以是实际存在的, 也可以根据需要而人为设定。

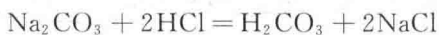
化学反应的计算中, 物质基本单元的确定, 可以归纳为以下两种方法:

(1) 由已知的化学(或离子)反应方程式来确定。例如:

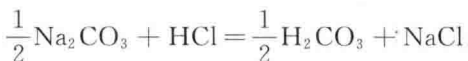


确定氢的基本单元为 3H_2 , 氮的基本单元为 N_2 , 氨的基本单元为 2NH_3 , 一般化学计算常采用这种方法。

(2) 根据需要先选定某物质的基本单元形式, 再以该物质的基本单元配平化学(或离子)反应方程式, 确定其他物质的基本单元形式。滴定分析计算常采用此种方法。例如, 用碳酸钠基准试剂标定盐酸的浓度:



一般选用 HCl 作为盐酸的基本单元, 其他物质的基本单元根据配平的化学方程式来确定:



所以碳酸钠的基本单元为 $\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{CO}_3$ 。

当同一物质选用不同的基本单元表示物质的量时, 其物质的量的数值不同, 但相互间可以换算, 如 $n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1 \text{ mol}$, 则 $n\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = 2n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2 \text{ mol}$ 。

例 1-1 用分析天平称取 1.234 6 g $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 基准物质, 溶解后转移至 100.0 mL 容量瓶中定容, 试计算 $c(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$ 和 $c\left(\frac{1}{6}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\right)$ 。

解: 已知 $m(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 1.234 6 \text{ g}$ $M(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 294.18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ $M\left(\frac{1}{6}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\right) = \frac{1}{6} \times 294.18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 49.03 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$\begin{aligned} c(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) &= \frac{n(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)}{V} = \frac{m(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)}{M(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) \times V} \\ &= \frac{0.234 6 \text{ g}}{294.18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 100.0 \times 10^{-3} \text{ L}} = 0.042 00 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \end{aligned}$$

$$c\left(\frac{1}{6}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\right) = 6c(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 6 \times 0.042 00 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 0.251 8 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

物质的量浓度使用方便, 但其值受温度的影响较大。

2. B 的质量摩尔浓度

B 的质量摩尔浓度 (molality of solute B) 是指单位质量溶剂中所含的溶质 B 的物质的量。用符号 b_B 表示:

$$b_B = \frac{n_B}{m_A} \quad (1-2)$$

式中, n_B 为溶质 B 的物质的量, SI 单位为 mol; m_A 为溶剂 A 的质量, SI 单位为 kg; b_B 的 SI 单位为 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。同样, 使用质量摩尔浓度时, 也应注明基本单元。

例 1-2 250 g 水溶液中含有 40 g NaCl, 计算此溶液的质量摩尔浓度。

解: $m(\text{H}_2\text{O}) = 250 \text{ g} - 40 \text{ g} = 210 \text{ g}$ 。根据式 (1-2), 得

$$b(\text{NaCl}) = \frac{40 \text{ g}}{58.5 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1} \times 210 \text{ g}} = 3.26 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

由于物质的质量不受温度的影响, 所以 b_B 与温度无关。因此, 它通常被用于稀溶液依数性的研究和一些精密的测定。

3. B 的物质的量分数

溶质 B 的物质的量与溶液总物质的量之比, 称为溶质 B 的物质的量分数也称为摩尔分数 (mole fraction of B)。用符号 x_B 表示:

$$x_B = \frac{n_B}{n} \quad (1-3)$$

式中, n_B 为物质 B 的物质的量, SI 单位为 mol; n 为混合物的物质的量, SI 单位为 mol; x_B 为物质的量分数, 无量纲。

对于一个两组分的溶液体系, 溶质的物质的量分数 x_B 与溶剂的物质的量分数 x_A 分别为

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

可见, $x_A + x_B = 1$, 若将这个关系推广到任何多组分体系中, 则都存在 $\sum x_i = 1$ 。

例 1-3 求质量分数为 10% 的 NaCl 溶液中溶质和溶剂的摩尔分数各为多少?

解: 依据题意, 100 g 此溶液中含有 NaCl 10 g, 水 90 g。即

$$\begin{aligned} m(\text{NaCl}) &= 10 \text{ g}, & m(\text{H}_2\text{O}) &= 90 \text{ g} \\ n(\text{NaCl}) &= \frac{m(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl})} = \frac{10 \text{ g}}{58.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.17 \text{ mol} \\ n(\text{H}_2\text{O}) &= \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{90 \text{ g}}{18.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 5.0 \text{ mol} \end{aligned}$$

所以

$$\begin{aligned} x(\text{H}_2\text{O}) &= \frac{n(\text{H}_2\text{O})}{n(\text{H}_2\text{O}) + n(\text{NaCl})} = \frac{5.0 \text{ mol}}{5.0 \text{ mol} + 0.17 \text{ mol}} = 0.97 \\ x(\text{NaCl}) &= \frac{n(\text{NaCl})}{n(\text{H}_2\text{O}) + n(\text{NaCl})} = \frac{0.17 \text{ mol}}{5.0 \text{ mol} + 0.17 \text{ mol}} = 0.03 \end{aligned}$$

4. B 的质量分数

溶质 B 的质量分数 (mass fraction of B) 是指单位质量溶液中所含溶质 B 的质量。符号为 ω_B , 无量纲, 可用分数或百分数表示:

$$\omega_B = \frac{m_B}{m} \quad (1-4)$$

式中, m_B 为溶质 B 的质量, m 为溶液的质量。

5. B 的质量浓度

溶质 B 质量浓度 (mass concentration of B) 是指单位体积溶液中所含的溶质 B 的质量。符号为 ρ_B :

$$\rho_B = \frac{m_B}{V} \quad (1-5)$$

式中, m_B 为溶质 B 的质量, V 为溶液的体积, 质量浓度 ρ_B 的 SI 单位为 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, 常用单位为 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

6. 各种浓度之间的换算

(1) 物质的量浓度与质量分数 若溶质 B 的质量分数为 ω_B 的溶液密度为 ρ , 则该溶液的物质的量浓度与质量分数的关系为:

$$c_B = \frac{n_B}{V} = \frac{m_B}{M_B V} = \frac{m_B}{M_B m / \rho} = \frac{\rho m_B / m}{M_B} = \frac{\omega_B \rho}{M_B} \quad (1-6)$$

式中, m 为溶液的总质量。

例 1-4 已知浓硫酸的密度 $\rho = 1.84 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$, 其质量分数为 95.6%, 试计算浓硫酸的物质的量浓度 $c(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 。

解: 已知 $\rho = 1.84 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$, $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 95.6\%$, 根据式(1-6)得:

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{\omega(\text{H}_2\text{SO}_4)\rho}{M(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{0.956 \times 1.84 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}}{98.0 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}} = 17.9 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

(2) 物质的量浓度与质量摩尔浓度 若已知溶液的密度 ρ 和溶液的质量 m , 则:

$$c_B = \frac{n_B}{V} = \frac{n_B}{m/\rho} = \frac{n_B \rho}{m} \quad (1-7)$$

若该系统是一个两组分系统, 且 B 组分的含量较少, 则溶液的质量 m 近似等于溶剂的质量 m_A , 上式近似为:

$$c_B = \frac{n_B \rho}{m} \approx \frac{n_B \rho}{m_A} = b_B \rho \quad (1-8)$$

若该溶液是稀的水溶液, 则:

$$c_B / (\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}) \approx b_B / (\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1})$$

1.2.2 等物质的量规则

任何化学反应, 若将化学(或离子)反应方程式中的每一项(包括计量系数在内的化学式或