

# 大学化学

张锡凤 张文莉 主编

 江苏大学出版社  
JIANGSU UNIVERSITY PRESS



# 大学化学

主编 张锡凤 张文莉

参编 朱卫华 王德萍 路桂芬



 江苏大学出版社  
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

镇 江

## 图书在版编目(CIP)数据

大学化学 / 张锡凤, 张文莉主编. —镇江: 江苏  
大学出版社, 2013. 8  
ISBN 978-7-81130-513-5

I. ①大… II. ①张…②张… III. ①化学—高等学  
校—教材 IV. ①06

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 147669 号

大学化学

DaXue HuaXue

---

主 编/张锡凤 张文莉

责任编辑/李经晶

出版发行/江苏大学出版社

地 址/江苏省镇江市梦溪园巷 30 号(邮编: 212003)

电 话/0511-84446464(传真)

网 址/http://press. ujs. edu. cn

排 版/镇江文苑制版印刷有限责任公司

印 刷/句容市排印厂

经 销/江苏省新华书店

开 本/718 mm×1 000 mm 1/16

印 张/21

字 数/401 千字

版 次/2013 年 9 月第 1 版 2013 年 9 月第 1 次印刷

书 号/ISBN 978-7-81130-513-5

定 价/40.00 元

---

如有印装质量问题请与本社营销部联系(电话:0511-84440882)

# 前 言

教育部实施的“面向 21 世纪高等教育教学内容和课程体系改革计划”是一项战略性的改革举措,对我国面向 21 世纪迎接知识经济社会的挑战,使高等教育适应社会主义市场经济的发展,具有划时代的历史意义。在科学技术飞速发展、工程日趋复杂、学科相互交叉的时代,要求高级人才的能力和知识结构必须是复合型的,并具有优良的综合素质。

化学教育是培养全面发展的工程技术人员知识结构和能力的重要组成部分。众多高校在本科培养计划中都很重视非化学化工类专业学生的大学化学理论和实验课程教育,旨在全面提高学生的化学素养和开拓学生的知识层次,以吻合 21 世纪的高等教育方向,培养“基础厚、口径宽、能力强、素质高”的高级工程科技人才。

纵观国内各高校大学化学课程,可发现许多高校分别选用大学化学的理论教材和实验教材。学生在接受“大学化学”课程教育时,在有限学时数内交替使用理论、实验教材,却未能充分发挥两本教材的全部作用,且使用上有诸多不便,如若保存不当,在今后工作中欲参考相关资源时也会难以寻觅。

作为多年从事高校化学教育工作者,编者以时代发展为背景,参考国内外本学科的研究动态,结合自身的教学经验和体会,从实际出发,秉承继承、创新和发展的理念,按照科学化、现代化的要求,编写了《大学化学》教材,以适应大学非化学化工专业教学的需要。本书包含大学化学理论教学内容和实验基础知识及各类综合实验,是一套面向新时期人才需求,适合大学非化学化工类各专业教学的基础教材。该教材的编写体现如下特点:

## 1. 教学内容的优化整合

采用现代化的教学理念,按原理、结构、实验三大板块优化重组大学化学课程基本内容。准确、简明地阐述基本、通用的高等教育层次的化学基本原理和规律;注重理论联系实际,丰富时代气息,关注社会热点问题;将学科最新发展成果引入教材,使本教材跟上现代科技发展步伐;把化学原理与环境、能源、材料、生命科学等论题结合起来,突出大学化学课程的社会性、应用性。



## 2. 实验内容的合理定位

实验是化学学科的基本特征。本教材注重介绍实验的相关知识,实验原理、内容和步骤,以及常见仪器的使用方法,使学生逐步熟悉和掌握实验的基本方法和技能,使学生既具有坚实的理论基础又有较强的实验工作能力;配套较多与生活息息相关的实验课题,以便与各专业紧密结合,展现化学科学与其他学科相互交叉、渗透和促进的鲜明特点,以及化学科学在工程技术、生活、社会等领域中发挥的重要作用;通过综合实施、设计实验和系统的科研实践,将知识技能转化为科学研究能力,培养学生的创新意识和应用能力。

在使用本书作为教材时,教师可以根据学生的实际情况,在保证课程基本要求的前提下,对内容进行取舍,也可对相关知识的讲授顺序进行调整。

参与本书编写的有:张锡凤(第3,9,10,11,12章),张文莉(第1,2,4章),朱卫华(第6,7章),王德萍(第5章),路桂芬(第8章),附录由张锡凤编制。全书由张锡凤和张文莉统稿。

由于编者水平有限,时间仓促,恳请读者对本书的错误和不妥之处提出批评指正。

编者

2013年7月

# 目 录

绪 论 .....	(1)
<b>第 1 章 溶液和胶体 .....</b>	<b>(4)</b>
1.1 溶 液 .....	(4)
1.2 稀溶液的依数性 .....	(9)
1.3 胶 体 .....	(17)
习 题 .....	(23)
<b>第 2 章 化学热力学基础 .....</b>	<b>(24)</b>
2.1 基本概念 .....	(24)
2.2 热力学第一定律 .....	(27)
2.3 热化学 .....	(30)
2.4 化学反应的标准摩尔焓变 .....	(33)
2.5 热力学第二定律 .....	(36)
2.6 化学反应的限度和平衡态 .....	(42)
习 题 .....	(46)
<b>第 3 章 化学动力学基础 .....</b>	<b>(47)</b>
3.1 化学反应速率及表示方法 .....	(48)
3.2 化学反应速率理论简介 .....	(50)
3.3 浓度对化学反应速率的影响 .....	(54)
3.4 温度对化学反应速率的影响 .....	(60)
3.5 催化剂对化学反应速率的影响 .....	(62)
习 题 .....	(65)
<b>第 4 章 酸碱解离平衡和沉淀溶解平衡 .....</b>	<b>(67)</b>
4.1 电解质溶液 .....	(67)



4.2	酸碱理论 .....	(70)
4.3	弱电解质的解离平衡 .....	(72)
4.4	缓冲溶液 .....	(80)
4.5	沉淀溶解平衡 .....	(83)
	习 题 .....	(91)
<b>第 5 章</b>	<b>氧化还原与电化学 .....</b>	<b>(93)</b>
5.1	氧化数与氧化还原反应 .....	(93)
5.2	原电池和电极电势 .....	(94)
5.3	影响电极电势及电池电动势的因素 .....	(101)
5.4	电极电势的应用 .....	(106)
5.5	化学电源 .....	(110)
5.6	电解及其应用 .....	(116)
5.7	金属的腐蚀与防护 .....	(121)
	习 题 .....	(125)
<b>第 6 章</b>	<b>原子结构和元素周期表 .....</b>	<b>(128)</b>
6.1	氢原子光谱与玻尔假设 .....	(128)
6.2	核外电子运动的特征 .....	(131)
6.3	核外电子运动状态的描述 .....	(134)
6.4	多电子原子的核外电子排布 .....	(141)
6.5	元素周期表和元素周期律 .....	(145)
	习 题 .....	(150)
<b>第 7 章</b>	<b>化学键和分子间作用力 .....</b>	<b>(152)</b>
7.1	离子键与离子化合物 .....	(152)
7.2	共价键和共价化合物 .....	(155)
7.3	分子间的作用力 .....	(169)
	习 题 .....	(175)
<b>第 8 章</b>	<b>配位化合物 .....</b>	<b>(177)</b>
8.1	配位化合物的基本概念 .....	(177)
8.2	配位化合物的化学键理论 .....	(181)
8.3	配位平衡 .....	(192)

8.4	配位化合物的应用 .....	(198)
	习 题 .....	(201)
<b>第 9 章</b>	<b>化学实验基本知识 .....</b>	<b>(203)</b>
9.1	化学实验室基本常识 .....	(203)
9.2	实验数据的处理 .....	(208)
9.3	实验预习、记录和报告 .....	(214)
9.4	化学实验常用仪器及其洗涤和干燥 .....	(216)
9.5	常用化学试剂 .....	(219)
9.6	试纸、指示剂和滤纸 .....	(221)
9.7	实验用水及纯水的制备 .....	(227)
<b>第 10 章</b>	<b>化学实验常用仪器 .....</b>	<b>(231)</b>
10.1	称量仪器 .....	(231)
10.2	度量仪器 .....	(234)
10.3	其他仪器 .....	(241)
<b>第 11 章</b>	<b>化学实验基本操作 .....</b>	<b>(250)</b>
11.1	加热与冷却 .....	(250)
11.2	固液分离方法 .....	(253)
11.3	固体、液体的干燥 .....	(256)
11.4	熔、沸点的测定 .....	(258)
11.5	萃取、重结晶与升华 .....	(260)
<b>第 12 章</b>	<b>大学化学实验内容 .....</b>	<b>(266)</b>
12.1	溶液的配制 .....	(266)
12.2	粗食盐的精制 .....	(268)
12.3	醋酸解离度和解离平衡常数的测定 .....	(271)
12.4	氧化还原反应 .....	(273)
12.5	磺基水杨酸与 Fe(III)配合物的组成和稳定常数的测定 .....	(276)
12.6	水体中阴离子表面活性剂含量的测定 .....	(279)
12.7	电位滴定法测定混合碱 .....	(282)
12.8	水硬度的测定 .....	(285)
12.9	水中化学耗氧量(COD)的测定 .....	(288)





12.10 工业废水中挥发酚的测定 .....	(291)
<b>附 录</b> .....	(294)
附录 1 有关计量单位 .....	(294)
附录 2 一些物理和化学的基本常数 .....	(297)
附录 3 希腊字母表 .....	(297)
附录 4 常见化合物的摩尔质量 .....	(298)
附录 5 一些物质的标准热力学函数(298.15 K, 100 kPa) .....	(303)
附录 6 常见弱酸、弱碱在水中的解离常数 .....	(316)
附录 7 常见难溶化合物的溶度积(298.15 K) .....	(318)
附录 8 标准电极电势表(298.15 K) .....	(319)
附录 9 一些配位化合物的稳定常数 .....	(323)
附录 10 常用缓冲溶液的配制 .....	(325)
<b>参考文献</b> .....	(326)

# 绪 论

---

随着科学技术的快速发展,化学已经成为满足社会需要的中心科学,它对于材料、能源、环境和人身健康等方面的发展至关重要,与生命科学、材料科学、环境科学、能源科学和信息学等众多学科相互交叉、渗透、融合并促进,逐渐成为国际学科研究和产业化的新增长点。随着各门学科之间的渗透日益增强,人们面临的问题往往需要综合运用多种学科的知识才能解决。在科学研究和工程实践中,非化工类的工程技术人员常常需要运用化学知识、化学的思维方法和化学的手段来解决问题。因此,化学是高等工科学校大多数专业不可缺少的一门基础课程,是各门工程技术之间的纽带,对培养基础厚、口径宽、能力强、素质高的具有创新意识和能力的人才具有重要的支撑作用。化学学科担负着艰巨而又宏大的使命。

基于化学学科与其他相关学科之间的融合和渗透关系,国内外的高等教育对化学教育是相当重视的。许多高等院校普遍开设化学方面的课程,作为公共必修课和选修课的重要内容,如“普通化学”、“工程化学”、“化学与环境”、“化学与人类”等。可见,重视理工科各专业的化学教育,已受到社会各界有识之士的广泛认同。

一切科学都是为适应一定社会生产的需要而产生和发展起来的。不同的历史时期有不同的要求。当今,人类研究化学的根本目的,是通过广泛认识物质化学变化规律,去“驯服”物质,把各种自然界取得的原料经过加工和改造,使它们造福人类。比如煤炭进行化学深加工后,可以制得许多有用的化工产品,如甲醇、乙二醇等;又如合成纤维、塑料、橡胶等所用的原料也是源于自然资源;再如废弃植物油和动物油,经过化学处理可以制备生物柴油,实现变废为宝的综合利用。

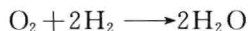
化学作为自然科学中的核心基础学科,主要是在原子、分子或离子水平上研究物质的组成、结构、性质及其相互作用。主要任务表现在以下两个方面:一是研究和认识自然界;二是创造自然界没有的新物质并研究其性质和应用。

由于化学是研究物质变化的科学,所以物质的组成、结构和性质必然成为



化学研究的主要内容。除此以外,物质的化学变化还必然同外界因素有关,所以研究物质化学变化的同时一定要研究变化发生的外界因素。

下面以大家熟悉的下述反应为例加以说明。



这个反应是一个典型的放热反应,但常温常压下,将氢气和氧气进行混合,并不能发生反应。当改变外界条件后,该反应即可以不同反应速率进行。如在空气中点燃纯净的氢气可以平稳地生成水;以金属铂作催化剂,氢气和氧气常温常压下即可反应生成水;以一定比例的氢气和氧气进行混合,遇明火发生爆炸也会生成水。综上所述,化学变化的外界条件对化学反应影响很大。

一般来说,自然科学的研究方法有:实验方法、归纳演绎法、数学统计处理方法、模型假设法等。虽然化学研究的对象与其他科学不尽相同,但这些方法在化学领域依然是适用的。例如,金属腐蚀是我们熟知的自然现象,通过实验研究和机理分析,可将金属腐蚀分为“化学腐蚀”和“电化学腐蚀”两类。基于腐蚀机理的差别,人们在施工和设计中,应确保尽量减少或避免金属腐蚀,这对增产节约、安全生产都有着十分重要的意义。

化学方法论之所以在化学认知、化学发展和化学理论的建立中起着重要作用,正是由于它体现了从简单到复杂、从低级到高级的认识活动次序,并按照“实践—认识—再实践—再认识”的模式往复循环,不断进入高一级状态,以达到更加完善的程度。例如,1924年法国物理学家德布罗意受到光的波粒二象性的启发,认为在光学上,比起波动性的研究方法,是过于忽略了粒子的研究方法,于是大胆地提出实物微粒(如电子等)也应有波动性。德布罗意的实物粒子的波粒二象性,被戴维森和革末电子衍射实验所证实。德布罗意提出波粒二象性的思路和方法,非常值得我们借鉴。在已经积累了较多的专业基础知识后,学会联想,归纳总结,挑战权威,追求真理的精神,将是进行科学研究的重要财富。

大学化学课程的教学内容主要分为两大部分:

(1) 理论部分,主要包括化学热力学、化学动力学、化学平衡、物质结构、溶液与胶体、配位化合物等。

(2) 实验部分,主要包括化学实验基本操作、仪器使用、物质制备与性质、重要数据测定、综合性和设计性实验等,由此训练学生的实验技能和灵活运用知识的能力。

通过本课程的教学活动,可使学生掌握现代化学的基本知识和实验技能,了解化学科学与其他学科相互交叉、渗透和促进的鲜明特点,了解化学科学在工程技术、生活、社会等领域中发挥的重要作用。

关于如何学习大学化学这门课程,编者提出如下几点学习方法,供读者参考。

(1) 带着问题进行学习 学习每一章时,要明确了解这一章的主要内容,注意把握:问题是如何提出的?通过什么方法解决?采用什么定律、实验和理论来解释有关现象?等问题,通过针对性地解决问题达到掌握本章节知识的目标。

(2) 重视预习 课前要进行必要的预习,对难以理解的内容和知识点做一些记录,以便上课时引起注意,再结合教师的针对性讲解而得到进一步理解和巩固。

(3) 注意相关知识点之间的联系 化学科学中的许多概念、公式和定律,在许多不同章节中都有一些关联。因此复习已经学过的内容,反复思考,是确保学习新内容、巩固新内容的有效手段。

(4) 注重练习 要培养和提高独立分析问题和解决问题的能力,就必须通过解题这一重要的学习环节来实现。各章节安排的例题和习题是教学活动中不可缺少的内容,对此应有足够的重视,要把完成习题作为对自己学习效果的一种检验。

(5) 重视实验 实验是化学学科的基本特征。在实验中学习化学,无疑是最有效和最重要的化学学习方法之一。实验前要做好预习,认真阅读实验教材和课程教材中有关实验的相关知识,了解实验原理、内容和步骤等,熟悉常见仪器的使用方法。实验过程中要严格按规范操作,仔细观察,认真记录实验现象,并对实验数据进行合理分析。通过该实践环节的练习,不仅培养和提高了学生的实验操作技能,而且巩固了在化学课程上所学的理论知识。

# 第 1 章

## 溶液和胶体

溶液和胶体是自然界中常见的混合物,与工农业生产及人类生命活动过程有着密切联系。生物体和土壤中的液体部分多数为溶液或胶体,人体内的血液、胃液、淋巴液等均为溶液,自然界中的江河湖海都是水溶液。在生活实践中,农药的使用、无土栽培技术的应用、组织培养液的配制、土壤的改良、工业废水的净化处理等都离不开对溶液或胶体的研究。本章首先简单介绍分散系的种类、特征,然后讨论溶液组成标度的表示方法、稀溶液的依数性,最后介绍胶体的基本概念、结构和主要性质。

### 1.1 溶 液

#### 1.1.1 分散系

一种或几种物质分散在另一种介质中而形成的体系称为分散体系(disperse system),简称分散系。如,NaCl 溶于水形成的溶液、酒精溶于水形成的溶液、牛奶溶于水形成的乳浊液、泥土置于水中形成的悬浊液以及水蒸气扩散到空气中形成的雾都为分散系。被分散的物质称为分散相(disperse phase)或分散质(可以是气体、液体、固体),上述分散系中的 NaCl、酒精、牛奶、泥土、水蒸气都是分散相。起容纳分散相作用的物质称为分散介质(disperse medium)或分散剂(可以是气体、液体、固体),上述分散系中的水、空气都是分散介质。

分散系的某些性质常随分散相粒子的大小而改变。因此,按分散相粒子的大小不同可将分散系分为 3 类:低分子(或离子)分散系或称为真溶液,其分散相粒子的大小在 1 nm 以下;胶体分散系或称为胶体溶液(colloidal solution),

其分散相粒子的大小在1~100 nm之间,溶胶和高分子化合物溶液都属于这一类分散系;粗分散系,其分散相粒子的大小在100 nm以上,可细分为悬浊液(内含固体颗粒)和乳浊液(内含液体颗粒)。这3类分散系之间无明显界限,各自的特征如表1-1所示。

分散系又可分为均相和多相(非均相)分散系。真溶液与高分子溶液为均相分散系,分散相和分散介质属于同一个相。溶胶与粗分散系为多相分散系,其分散相和分散介质属于不同的相。

表1-1 分散系的分类

分散系类型	分散相类型	分散相粒子直径	主要特征	实例	
真溶液	分子或离子	<1 nm(能透过滤纸和半透膜)	澄清、透明,均一稳定,无丁达尔现象	NaCl溶液、溴水	
胶体	胶粒(分子、离子、原子的聚集体或单个高分子)	1~100 nm(能透过滤纸,不能透过半透膜)	均一,较稳定,有丁达尔现象,常透明	肥皂水、淀粉溶液、Fe(OH) <sub>3</sub> 胶体	
粗分散系	悬浊液	固体颗粒	>100 nm(不能透过滤纸和半透膜)	不均一,不稳定,不透明	水泥
	乳浊液	小液滴	>100 nm(不能透过滤纸和半透膜)	能透光的浊液有丁达尔现象	乳化水溶液

**注意:**

- ① 溶液分散系中,溶质是分散相,溶剂是分散介质。
- ② 悬浊液或乳浊液中不存在溶质和溶剂的概念。
- ③ 溶液不一定是液体,如许多合金属于溶液;同理,浊液不一定是液体,不洁净的空气属于浊液。
- ④ 根据分散相与分散介质的状态,它们之间可有9种组合方式:气体→气体、液体、固体;液体→气体、液体、固体;固体→气体、液体、固体。

### 1.1.2 溶液组成标度的表示方法

无论在实验室、化工生产、环境监测还是在人体的生命过程和动植物的生理活动中,都离不开溶液。通常所说的溶液为液态,若不特别指明,即为水溶液。配制和使用溶液首要的问题就是溶液组成的量度。溶液组成的量度可以用一定量溶液或溶剂中所含溶质的量来表示,其中常用的表示方法有:物质的量浓度、质量摩尔浓度、摩尔分数和质量分数等。

## 1. 物质的量浓度

### (1) 物质的量及摩尔质量

物质的量(amount of substance)是国际单位制 SI 中 7 个基本物理量之一,它和长度、质量、时间等概念一样,是一个物理量的整体名词。它表示物质所含粒子数目的多少,用符号  $n$  表示,其单位为摩尔(mol),简称摩。它是把微观粒子与宏观可称量物质联系起来的一种物理量。

根据 1971 年第十四届国际计量大会的决议,摩尔是一体系的物质的量,该体系中包含的基本单元(elementary entity)数目与  $0.012 \text{ kg } ^{12}\text{C}$  的原子数目相等。

在使用物质的量及其单位摩尔时应注意:

① 摩尔既不是质量的单位,也不是数目的单位,而是物质的量的单位。体系中基本单元的数目与  $0.012 \text{ kg } ^{12}\text{C}$  中所含的原子数目相等,则该体系的物质的量就是  $1 \text{ mol}$ 。由于  $0.012 \text{ kg } ^{12}\text{C}$  中所含的原子数目约为阿伏伽德罗常数( $N_A = 6.02 \times 10^{23}$ ),所以,  $1 \text{ mol}$  是  $6.02 \times 10^{23}$  基本单元微粒的集合。若体系中所含基本单元的数目( $N$ )是阿伏伽德罗常数的多少倍,则体系中物质的量就是多少摩尔,即  $n = N/N_A$ 。

② 在使用物质的量时必须指明基本单元。基本单元可以是分子、原子、离子、电子、光子等一切物质的粒子或这些粒子的特定组合,如  $\text{H}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $2\text{KCl}$ ,  $(2\text{H}_2 + \text{O}_2)$  等都可以指定为基本单元。基本单元的选择是任意的,它既可以是实际存在的,也可以是根据需要人为设定的。

基本单元确定后,物质的量就可以用该物质的质量和摩尔质量(molar mass)来求算。摩尔质量被定义为某物质的质量除以其物质的量,即

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

式中,  $M_B$  为物质 B 的摩尔质量,单位为  $\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$  或  $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ;  $m_B$  为物质 B 的质量,单位为  $\text{kg}$  或  $\text{g}$ ;  $n_B$  为物质 B 的物质的量,单位为  $\text{mol}$ 。常见化合物的摩尔质量见附录 4。

在使用摩尔质量时同样必须指明基本单元。例如:  $M(\text{NaOH}) = 40.00 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ;  $M\left(\frac{1}{2}\text{NaOH}\right) = 20.00 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ;  $M\left(\frac{1}{5}\text{KMnO}_4\right) = 31.61 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。相同质量的某物质,如  $\text{KMnO}_4$ , 当选择  $\text{KMnO}_4$ ,  $\frac{1}{5}\text{KMnO}_4$  或  $5\text{KMnO}_4$  等不同的基本单元时,其摩尔质量不同,物质的量也不相同。

### (2) 物质的量浓度

以单位体积溶液中所含溶质 B 的物质的量来表示溶液组成的物理量,称为

溶质 B 的物质的量浓度 (amount-of-substance concentration, molarity), 用符号  $c_B$  表示, 常用单位为  $\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$  或  $\text{mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 。即

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

式中,  $n_B$  为溶液中溶质 B 的物质的量;  $V$  为溶液的体积。

由于  $c_B$  是  $n_B$  的导出量, 故选择的基本单元不同, 物质的量浓度的数值也不相同。因此, 在使用  $c_B$  时也应指明基本单元。

这里需要指出的是, 若不特殊说明, 浓度指的就是物质的量浓度。

**【例 1-1】** 将 40 g 的 NaOH 溶于 60 g 水中, 配成溶液, 所得溶液的密度为  $1.21 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 求  $c(\text{NaOH})$  为多少?

**解:** 查附录 4, 可得  $M(\text{NaOH}) = 40.00 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$m(\text{NaOH}) = 40 \text{ g}$ ,  $m(\text{H}_2\text{O}) = 60 \text{ g}$ ,  $\rho = 1.21 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,

1  $\text{dm}^3$  溶液中 NaOH 的质量为  $m(\text{NaOH}) = \frac{1.21 \times 1000 \times 40}{40 + 60} = 484 (\text{g})$

因为

$$M_B = \frac{m_B}{n_B}, c_B = \frac{n_B}{V}$$

则

$$c_B = \frac{m_B}{M_B \cdot V}$$

$$c(\text{NaOH}) = \frac{484}{40.00 \times 1.0} = 12.1 (\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3})$$

## 2. 质量摩尔浓度

1 kg 溶剂中所含溶质 B 的物质的量, 称为溶质 B 的质量摩尔浓度 (molality), 用符号  $b_B$  表示, 常用单位为  $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$  或  $\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。即

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

式中,  $n_B$  为溶液中溶质 B 的物质的量;  $m_A$  为溶液中溶剂 A 的质量。

质量摩尔浓度与物质的量浓度相比, 由于前者与体积无关, 所以其数值不随温度的变化而变化, 在要求精确浓度时, 必须用质量摩尔浓度表示。对于一般稀溶液来说, 其密度近似等于水的密度, 可以认为溶质 B 的物质的量浓度  $c_B$  近似地等于其质量摩尔浓度  $b_B$ , 这种近似常用于计算中。

**【例 1-2】** 将 7.0 g 结晶草酸 ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) 溶于 93.0 g 水中, 求草酸的质量摩尔浓度  $b(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$ 。

**解:** 查附录 4, 可知  $M(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 126.07 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ,  $M(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 90.04 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

在 7.0 g  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  中  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  的质量为



$$m(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = \frac{7.0 \times 90.04}{126.07} \approx 5.0(\text{g})$$

溶液中水的质量为  $m(\text{H}_2\text{O}) = 93.0 + (7.0 - 5.0) = 95.0(\text{g})$

草酸的质量摩尔浓度为

$$b(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = \frac{5.0/90.04}{95.0/1\,000} \approx 0.58 (\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1})$$

### 3. 摩尔分数

混合物或溶液中一种物质 B 的物质的量与各组分的总物质的量之比,即为该组分的摩尔分数(mole fraction),也称为物质的量分数(amount-of-substance fraction),用符号  $x_B$  表示,即

$$x_B = n_B / \sum_B n_B \quad (1-4)$$

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

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

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

### 4. 质量分数

物质 B 的质量分数(mass fraction)是指物质 B 的质量  $m_B$  除以混合物的总质量  $\sum_B m_B$ ,用符号  $\omega_B$  表示,即

$$\omega_B = m_B / \sum_B m_B \quad (1-5)$$

对于溶液而言,溶质 B 和溶剂 A 的质量分数分别为

$$\omega_B = \frac{m_B}{m_A + m_B} \quad \omega_A = \frac{m_A}{m_A + m_B}$$

式中,  $m_B$  为溶质 B 的质量,  $m_A$  为溶剂 A 的质量。显然,  $\omega_A + \omega_B = 1$ 。

### 5. 体积分数

物质 B 的体积分数(volume fraction)是指物质 B 的体积  $V_B$  除以混合物的总体积  $\sum_B V_B$ ,用符号  $\varphi_B$  表示,即

$$\varphi_B = V_B / \sum_B V_B \quad (1-6)$$

**【例 1-3】** 市售浓硫酸的密度为  $1.84 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ,质量分数为 96.0%,试求该溶液的  $c(\text{H}_2\text{SO}_4)$ ,  $x(\text{H}_2\text{SO}_4)$  和  $b(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 。

解: 查附录 4, 可得  $M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98.07 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{(1.84 \times 1\,000) \times 0.960}{98.07} = 18.01 (\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3})$$