



应用型本科院校“十三五”规划教材/化学类

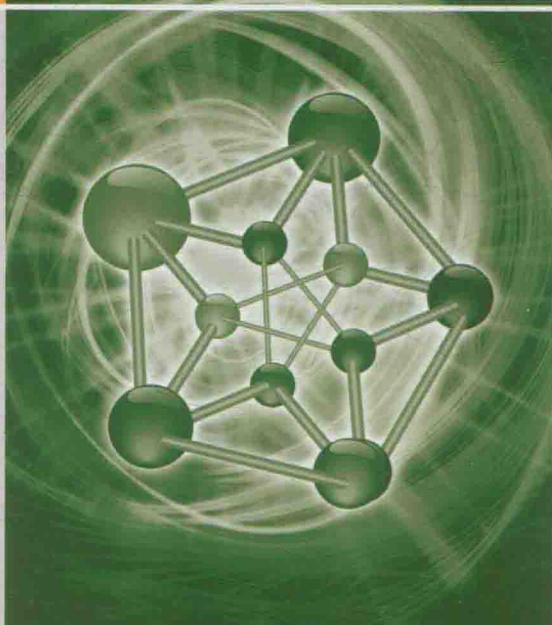
主编 罗洪君 许伟锋

普通化学

(第3版)

General Chemistry

- 适用面广
- 应用性强
- 促进教学
- 面向就业



清华大学出版社



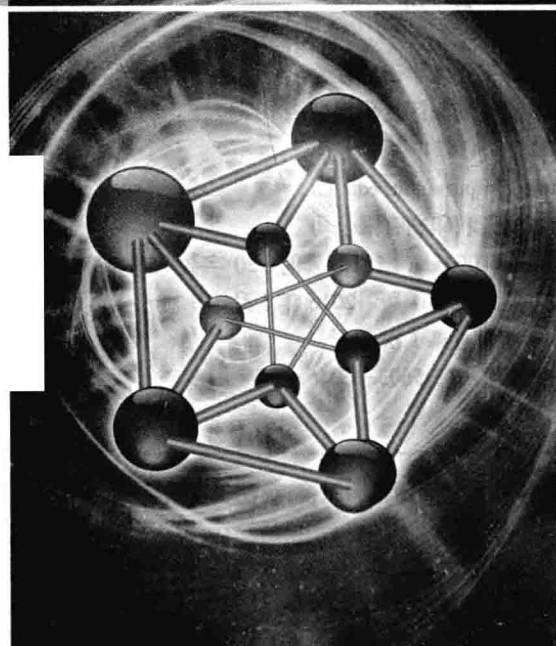
应用型本科院校“十三五”规划教材/化学类

主 编 罗洪君 许伟锋
副主编 李红艳 彭殿宝 韩 霜
主 审 汪颖军

普通化学

(第3版)

General Chemistry



哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

本教材是应用型本科院校规划教材,是以适应应用型工科类专业的教育特点,突出以应用能力培养为目标编写的。把握“课程对准技术”的教改方向,内容满足化工类及相关专业的基本需要,注意为专业培养目标服务,与生产实际接轨,充分体现应用型本科院校学生特点。本教材知识结构合理,符合认知规律,内容深入浅出,基本知识以“必须”和“够用”为度。

全书共分 12 章,各章配有小结、习题,为训练学生思维、理解、记忆及运用知识的能力提供方便,并通过习题练习使学生把理论与实践结合起来。培养学生分析问题与解决问题的能力,以及自觉学习能力和培养职业核心能力。

本教材适用于化工、石油工程、土木、自动控制、机械、信息电子技术、冶金等专业的大学本科生,以及上述行业的从业人员在职培训和广大上述行业爱好者阅读和学习。

图书在版编目(CIP)数据

普通化学/罗洪君,许伟锋主编.—3 版.—哈尔滨:
哈尔滨工业大学出版社,2016.6
应用型本科院校“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5603-6046-1
I. ①普… II. ①罗…②许… 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(2016)第 119769 号

策划编辑 赵文斌 杜 燕
责任编辑 张 瑞
出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006
传 真 0451-86414749
网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>
印 刷 哈尔滨久利印刷有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 20 字数 458 千字
版 次 2010 年 8 月第 1 版 2016 年 6 月第 3 版
2016 年 6 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5603-6046-1
定 价 38.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

《应用型本科院校“十三五”规划教材》编委会

主 任 修朋月 竺培国

副主任 张金学 吕其诚 线恒录 李敬来 王玉文

委 员 (按姓氏笔画排序)

丁福庆 于长福 马志民 王庄严 王建华

王德章 刘金祺 刘宝华 刘通学 刘福荣

关晓冬 李云波 杨玉顺 吴知丰 张幸刚

陈江波 林 艳 林文华 周方圆 姜思政

庾 莉 韩毓洁 蔡柏岩 臧玉英 霍 琳

序

哈尔滨工业大学出版社策划的《应用型本科院校“十三五”规划教材》即将付梓,诚可贺也。

该系列教材卷帙浩繁,凡百余种,涉及众多学科门类,定位准确,内容新颖,体系完整,实用性强,突出实践能力培养。不仅便于教师教学和学生学学习,而且满足就业市场对应用型人才的迫切需求。

应用型本科院校的人才培养目标是面对现代社会生产、建设、管理、服务等一线岗位,培养能直接从事实际工作、解决具体问题、维持工作有效运行的高等应用型人才。应用型本科与研究型本科和高职高专院校在人才培养上有着明显的区别,其培养的人才特征是:①就业导向与社会需求高度吻合;②扎实的理论基础和过硬的实践能力紧密结合;③具备良好的人文素质和科学技术素质;④富于面对职业应用的创新精神。因此,应用型本科院校只有着力培养“进入角色快、业务水平高、动手能力强、综合素质好”的人才,才能在激烈的就业市场竞争中站稳脚跟。

目前国内应用型本科院校所采用的教材往往只是对理论性较强的本科院校教材的简单删减,针对性、应用性不够突出,因材施教的目的难以达到。因此亟须既有一定的理论深度又注重实践能力培养的系列教材,以满足应用型本科院校教学目标、培养方向和办学特色的需要。

哈尔滨工业大学出版社出版的《应用型本科院校“十三五”规划教材》,在选题设计思路上认真贯彻教育部关于培养适应地方、区域经济和社会发展需要的“本科应用型高级专门人才”精神,根据黑龙江省委书记吉炳轩同志提出的关于加强应用型本科院校建设的意见,在应用型本科试点院校成功经验总结的基础上,特邀请黑龙江省9所知名的应用型本科院校的专家、学者联合编写。

本系列教材突出与办学定位、教学目标的一致性和适应性,既严格遵照学科

体系的知识构成和教材编写的一般规律,又针对应用型本科人才培养目标及与之相适应的教学特点,精心设计写作体例,科学安排知识内容,围绕应用讲授理论,做到“基础知识够用、实践技能实用、专业理论管用”。同时注意适当融入新理论、新技术、新工艺、新成果,并且制作了与本书配套的 PPT 多媒体教学课件,形成立体化教材,供教师参考使用。

《应用型本科院校“十三五”规划教材》的编辑出版,是适应“科教兴国”战略对复合型、应用型人才的需求,是推动相对滞后的应用型本科院校教材建设的一种有益尝试,在应用型创新人才培养方面是一件具有开创意义的工作,为应用型人才的培养提供了及时、可靠、坚实的保证。

希望本系列教材在使用过程中,通过编者、作者和读者的共同努力,厚积薄发、推陈出新、细上加细、精益求精,不断丰富、不断完善、不断创新,力争成为同类教材中的精品。

马长利

第3版前言

《普通化学》一书自2010年出版发行以来,得到了广大师生的认可和支持,借此再版之际,表示深深的谢意。

普通化学是高等工科教育中的基础课程。按照教育部的规定,普通化学课程应是非化学化工专业本科生接受到的最高化学教育,并应纳入普通高等学校本科教育计划。它将在很大程度上影响当代和今后中国工程技术应用型人才的基本化学素养。当今,科技在发展、社会在进步,人才培养的观念要更新,应用型工程技术人才的培养要跟上时代科技的发展,跟上经济对人才科技知识基本素养要求,应从所培养的学生要承担的责任和面临的挑战来审视大学普通化学教育,尤其是审视培养工程技术应用型人才的独立院校普通化学教育。为此必须框定课程教学的基本要求及相应的教材内容。独立院校普通化学课程应该还是比较系统、全面地向学生讲授和介绍化学的基本原理和基础知识,其知识范围应该涵盖和涉及无机化学、有机化学、分析化学、物理化学诸领域的基础知识,使学生懂得化学变化的基本规律、分析方法、实施和控制化学反应的基本手段;了解当代化学科学的发展及21世纪化学所属各学科,包括无机化学、有机化学、分析化学、物理化学的发展趋势,提高学生把化学科学的规律、知识、技术、方法应用到本专业工作中去的能力和素养,培养学生的创新思想、创新思维 and 创新能力以适应21世纪高新技术在学科领域相互渗透、相互交叉的特点,推动科学技术的发展,为人类的进步作出贡献。

本教材按照独立院校培养应用型技术人才的目标,结合独立院校学生的特点编写。在教材内容的编排上体现对基本原理论述的“少而精”,对基础知识和拓展内容的介绍“广而新”的特色,把本书内容分为基本理论、基础知识及拓展内容3部分,组成了既有区别又紧密相关的知识体系,涵盖了当今普通化学中最主要的基本内容,符合国家规定的普通化学课程教学的基本要求。

本教材由罗洪君、许伟锋主编。第1章、第2章、第3章由许伟锋编写,第4章、第5章、第6章由李红艳编写,第7章、第8章、第12章由彭殿宝编写,第9章、第10章、第11章、附录由韩霜编写,全书由汪颖军教授审阅。

限于编者的知识、水平,本教材出现疏漏在所难免,敬请各位同仁和广大读者批评指正。

编 者
2016年5月

目 录

第1章 气体、溶液和胶体	1
1.1 溶液	1
1.2 稀溶液的依数性	6
1.3 胶体分散系统	11
本章小结	20
习 题	21
第2章 化学热力学基础与化学平衡	26
2.1 基本规律	26
2.2 化学反应中的质量守恒与能量守恒	30
2.3 化学反应的方向——吉布斯自由能减少	39
2.4 化学反应的限度与化学平衡	48
本章小结	57
习 题	59
第3章 化学动力学	65
3.1 化学反应速率	66
3.2 化学反应速率理论简介	68
3.3 影响化学反应速率的因素	71
本章小结	80
习 题	81
第4章 酸碱平衡与沉淀平衡	86
4.1 溶液中的酸碱平衡	86
4.2 沉淀溶解平衡	98
本章小结	103
习 题	105
第5章 电化学基础	109
5.1 氧化还原反应	109
5.2 原电池	112
5.3 电极电势	119
5.4 电动势与电极电势在化学中的应用	126
5.5 电解	131

5.6 金属的腐蚀及防治	136
本章小结	139
习 题	140
第 6 章 原子结构与元素周期律	144
6.1 人类认识原子结构的简单历史	144
6.2 核外电子的运动状态	146
6.3 原子轨道与电子云	149
6.4 多电子原子结构	152
6.5 电子层结构与周期表	156
6.6 元素基本性质的周期性变化	159
本章小结	166
习 题	167
第 7 章 化学键与分子结构	169
7.1 化学键理论	169
7.2 晶体结构	181
本章小结	184
习 题	185
第 8 章 滴定分析法	188
8.1 滴定分析法概述	188
8.2 酸碱滴定法	192
8.3 氧化还原滴定法	195
8.4 沉淀滴定法	199
8.5 配位滴定法	203
本章小结	205
习 题	205
第 9 章 配合物	207
9.1 配合物的基本概念	207
9.2 配合物的类型	211
9.3 配合物的价键理论	212
9.4 配合物的性质	224
9.5 配位平衡及配合物的稳定性	225
9.6 配合物的应用	229
本章小结	232
习 题	232
第 10 章 有机化学与高分子化学	234
10.1 有机化合物的特征及分类	234

10.2	有机化合物的命名	237
10.3	各类主要有机化合物的特征	239
10.4	高分子化合物的基本概念	250
10.5	高分子化合物的结构和性能	252
10.6	几种重要的高分子合成材料	253
	本章小结	258
	习 题	258
第 11 章	环境与化学	260
11.1	人类、环境和化学	260
11.2	当代重大的环境问题	262
11.3	受污染环境修复技术	268
11.4	绿色化学	269
	本章小结	272
	习 题	272
第 12 章	21 世纪的化学展望	273
12.1	21 世纪无机化学	273
12.2	21 世纪有机化学	278
12.3	21 世纪高分子化学	283
12.4	21 世纪分析化学	287
12.5	21 世纪物理化学	290
	附录	295
附录 1	我国法定计量单位	295
附录 2	基本物理常数	297
附录 3	某些物质的标准生成焓、标准摩尔生成吉布斯自由能和标准熵(25 °C)	297
附录 4	酸、碱的解离常数	301
附录 5	容度积常数	302
附录 6	配离子稳定常数	304
附录 7	标准电极电势	304
	参考文献	308

第 1 章

溶液和胶体

在自然界和人类的生命活动中,溶液和胶体对人们而言是极其重要的。因为大多数的化学反应都是在溶液中进行的,在科学研究和实际生产中有着广泛的应用。例如,电解食盐水溶液制取烧碱;工业中海水的淡化、污水的处理等。除此之外,人和动物的血液和淋巴液等也都属于溶液的范畴。因此,研究溶液的性质及变化规律对我们掌握和使用溶液非常有必要。胶体溶液的存在也很普遍,土壤的形成、动植物的骨架、组织及各种生命现象都与胶体有着密切的关系。本章介绍溶液的组成、浓度表示方法、稀溶液的依数性及胶体溶液的基本知识。

1.1 溶 液

在溶液里进行的化学反应通常速度是比较快的,所以,在实验室里或化工生产中,要使两种能发生反应的固体发生反应,常常先把它们溶解,然后把两种溶液混合,并加以振荡或搅动,以加快反应的速度。本节主要介绍与溶液相关的一些性质。

1.1.1 分散系统概述

在科学研究中,我们把研究的对象称为系统(System),而把研究对象周围与其密切相关的部分称作环境(Surroundings)。在一个系统中,任何物理性质和化学性质完全相同且与其他部分间有明确界面隔开的均匀部分都称为相(Phase)。系统中可以只有一个相,称作单相系统或均相系统;系统中含有两个或更多个相,称作多相系统或非均相系统。由同一种聚集态组成的系统可以有多个相,例如,由油和水形成的乳液系统中,就存在着油和水两个相;而在单相系统中却必定只有一种聚集态。在由同一种物质形成的系统中也可以有多个相,例如,由水、冰和水蒸气组成的系统中虽然只有一种物质,但却有3个相,分别是液相、固相和气相。

分散系统(Dispersed System)是指当一种或几种物质被分散在另一种物质中所形成的系统。被分散的物质称为分散质(Dispersate);而另一种呈连续分布的起分散作用的物质称为分散介质(Dispersed Medium)。

分散系统常按照分散相的粒子大小分成溶液(Solution)、胶体分散系统(Colloidal

Dispersed System) 和粗分散系统 (Coarse Dispersed System) 3 类。

(1) 溶液

溶液是指分散相粒子的直径小于 1 nm, 分散相以分子或离子状态分散于分散剂中所形成的分散系统。在这种分散系统中, 分散相与分散剂形成了均匀的溶液, 它是一种单相的均匀分散系统。氯化钠溶液就属于这一类分散系统。

(2) 胶体分散系统

胶体分散系统是指分散相粒子直径介于 1 ~ 100 nm 之间的分散系统。例如, 固体分散相分散于液体介质中形成的溶胶就是胶体分散系统的一种。胶体中的分散相粒子是由许多分子或离子聚集而成的, 它们以一定的界面与周围介质相分隔, 形成一个不连续的相, 而系统的分散介质则是一个连续相。所以, 尽管用肉眼或一般显微镜观察时, 胶体系统看起来好像是单相, 但实际上它是一个多相系统。

(3) 粗分散系统

粗分散系统是指分散相粒子直径大于 100 nm 时形成的分散系统。悬浊液、乳浊液、泡沫和粉尘属于粗分散系统, 这是一种多相的不均匀系统, 用一般显微镜甚至肉眼即可观察到其中的分散相粒子。

各分散系的比较见表 1.1。

表 1.1 各分散系的比较

分散系	溶液	胶体分散系统	粗分散系统
粒径大小	<1 nm	1 ~ 100 nm	>100 nm
外观	单个小分子或离子	高分子或多分子集合	巨大的分子集合体
稳定性	稳定	较稳定	不稳定
透过性能	能透过滤纸和半透膜	能透过滤纸 无法透过半透膜	无法透过滤纸和半透膜
鉴别方式	无丁达尔现象	有丁达尔现象	静止分层或沉淀
实例	NaCl 溶液	Fe(OH) ₃ 胶体	泥水

按照分散相和分散介质聚集状态的不同, 分散系统可以分为 8 类, 见表 1.2。

表 1.2 分散系统按聚集状态分类

分散介质	分散相	名称	实例
气	液	气溶胶	云, 雾
	固		烟, 粉尘
液	气	泡沫	肥皂泡沫
	液	乳状液	牛奶, 含水原油
	固	悬浮液	金溶胶, 油墨, 泥浆
固	气	固溶胶	泡沫塑料
	液		珍珠, 蛋白石
	固		有色玻璃, 某些合金

1.1.2 溶 液

1. 溶液的基本概念和分类

溶液(Solution)是由两种或多种组分组成的均匀分散系统。溶液中各部分都具有相同的物理和化学性质,是一个均相系统。其中分散相称为溶质,而分散介质称为溶剂。溶液不同于其他分散系统之处在于:溶液中溶质是以分子或离子状态均匀地分散于溶剂之中的。按照组成溶液的溶剂和溶质原先的聚集状态的不同,可以把溶液分成6类,而按照形成的溶液所呈现的聚集态分类,则可以分为气态溶液、液态溶液、固态溶液3类,见表1.3。

表 1.3 溶液的种类

溶质	溶剂	溶液的状态	实 例
气体	气体	气态(气态溶液)	空气,天然气
气体	液体	液态(液态溶液)	溶解有二氧化碳的水
气体	固体	固态(固态溶液)	吸附了氢气的金属钯
液体	液体	液态(液态溶液)	乙醇的水溶液
固体	液体	液态(液态溶液)	氢氧化钠的水溶液,碘的四氯化碳溶液
固体	固体	固态(固态溶液)	黄铜(铜锌合金),钢(少量的碳溶于铁)

液态溶液,尤其是以水为溶剂的溶液,在生产实际和科学研究中具有特别重要的地位。一般所说的溶液就是指液态溶液,如无特别说明,通常是指以水为溶剂的水溶液。

2. 溶解过程与溶液的形成

溶质均匀分散于溶剂中形成溶液的过程称为溶解。

溶解过程是一个复杂的物理化学过程,它既不是单纯的物理过程,也不是完全的化学过程。在溶解过程中,常常伴随着热量、体积甚至颜色的变化。例如,氢氧化钠或硫酸溶解于水时,放出大量的热;硝酸铵溶解于水时需要吸热;酒精与水形成的溶液体积小于原来酒精和水体积的和;白色的无水硫酸铜溶解于水中得到的是蓝色的溶液。溶解的过程中部分破坏了原先溶质内部分子间的作用及溶剂本身分子间的作用,而形成了溶质分子与溶液分子间的作用力,因此不同的溶解过程伴随着不同的能量变化。此外,溶解过程也总伴随着熵的变化,因为在纯溶剂或溶质中,组成物质的微粒排布相对有序,而在溶解过程中,这种有序性就会遭到破坏,从而使系统的混乱度增加。系统混乱度增加有利于一个过程的自发进行。正是由于溶解过程始终是一个系统混乱度增加的过程,所以即使有些溶解过程是吸热的,却依然可以自发进行。

溶解度是指在一定的温度和压力条件下,在一定量溶剂中最多能溶解的溶质的质量。溶解度表征了物质在指定溶剂中溶解性的大小,是由物质自身的组成、结构所决定的,是物质的本征特性之一。在一定温度压力下,物质的溶解度大小取决于该物质及指定溶剂本身的特性。

在总结大量实验的基础上,人们归纳出了关于各类物质在液体中溶解的经验规律,这

就是相似相溶原理:结构相似的物质之间容易相互溶解。也就是说,如果溶质与溶剂具有相似的组成或结构,因而具有相似的极性(同为极性物质或同为非极性物质)时,它们之间就能较好地相互溶解。水是一种极性溶剂,并且分子间可以形成氢键,因此一般的离子化合物(如无机盐类)以及能与水分子之间形成氢键的物质(如醇、羧酸、酮等)在水中有较好的溶解性。而一般的有机化合物,通常为非极性或极性较小,因而在水中难溶,而易溶于非极性的有机溶剂中,例如具有苯环的芳香族化合物一般溶于苯、甲苯、二甲苯等溶剂中。对于结构类似的同类固体,熔点越低,其分子间作用力越接近液体中分子间作用力,其在液体中的溶解度越大。而对于结构相似的气体,沸点越高,则其分子间作用力越接近液体中分子间作用力,该气体在液体中的溶解度越大。但应注意的是,相似相溶规则仅仅是个经验规律,应用中不能简单类推,尤其是对结构是否相似的判断,应看其本质流。例如,乙酸是一种极性物质,可以与水混溶,但是,它也能溶于苯、四氯化碳这样的非极性溶剂中,这是因为在非极性溶剂中乙酸可以形成极性较小的二聚体。

对于指定的物质在指定溶剂中的溶解度,主要与温度有关,多数固体物质在水中的溶解度是随温度的升高而增大的,而气体物质在水中的溶解度多随温度的上升而下降。温度对流体溶质的溶解度影响较小,压力对固体和液体物质的溶解度几乎没有影响,但压力变化对气体物质的溶解度有明显的影响,一般随气体压力的增大,溶解度也会增大。

3. 溶液浓度的表示方法

浓度就是指一定量溶液中溶质及溶剂相对含量的定量表示。根据研究需要的不同,这种相对含量的表示可以有多种方式。常用的浓度表示法有物质的量浓度、质量摩尔浓度、摩尔分数、质量分数、当量浓度、体积分数、质量浓度、滴定度等。这里主要介绍前3种浓度表示法。

(1) 物质的量浓度

溶质B的物质的量浓度定义为每升溶液中所含有的溶质B的物质的量,用符号 c_B 表示,即

$$c_B = n_B / V \quad (1.1)$$

式中 c_B ——溶质B的物质的量浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$;

n_B ——溶质B的物质的量, mol ;

V ——溶液的体积, L 。

例 1.1 临床上治疗碱中毒时常用氯化铵(NH_4Cl)针剂,其规格为每支20.0 mL,含 NH_4Cl 0.16 g。试计算:(1) 每支针剂中含 NH_4Cl 的物质的量;(2) 物质的量浓度。

解 已知 $M(\text{NH}_4\text{Cl}) = 53.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$n(\text{NH}_4\text{Cl}) = \frac{m(\text{NH}_4\text{Cl})}{M(\text{NH}_4\text{Cl})} = \frac{0.16 \text{ g}}{53.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 3.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$c(\text{NH}_4\text{Cl}) = \frac{n(\text{NH}_4\text{Cl})}{V} = \frac{3.0 \times 10^{-3} \text{ mol} \times 1000 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}}{20.0 \text{ mL}} = 0.15 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

(2) 质量摩尔浓度

溶质B的质量摩尔浓度定义为每千克溶剂中所含溶质B的物质的量,用符号 b_B 表示,即

$$b_B = n_B / m_A \quad (1.2)$$

式中 b_B ——溶质 B 的质量摩尔浓度, $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$;

n_B ——溶质 B 的物质的量, mol ;

m_A ——溶剂的质量, kg 。

例 1.2 将 7.00 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, 试计算草酸的质量摩尔浓度。

解 已知 $M(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 126 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 90 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, 故 7.00 g 结晶草酸中草酸的质量为

$$m(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = \frac{7.0 \text{ g} \times 90 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{126 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 5.00 \text{ g}$$

溶液中水的质量为

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 93 \text{ g} + (7.00 - 5.00) \text{ g} = 95.00 \text{ g}$$

则

$$b(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = \frac{m(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)}{M(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) \cdot m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{5.00 \text{ g} \times 1000 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}}{90 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 95.00 \text{ g}} = 0.585 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

(3) 摩尔分数

溶质 B 的摩尔分数定义为溶质 B 的物质的量占溶液中所有组分的物质的量的分数, 亦称物质的量分数, 用符号 x_B 表示, 即

$$x_B = n_B / n \quad (1.3)$$

式中 x_B ——溶质 B 的摩尔分数;

n_B ——溶质 B 的物质的量, mol ;

n ——溶液中所有组分的物质的量, mol 。

例 1.3 30 mL NaCl 饱和溶液质量为 36.009 g, 将其蒸干后得到 NaCl 9.519 g, 求该溶液的: (1) 物质的量浓度; (2) 质量摩尔浓度; (3) 摩尔分数。

分析 这是一个已知溶液中溶质和溶剂的质量与溶液总体积, 求溶液不同浓度的题型, 只要知道溶质和溶剂的摩尔质量, 则可计算出溶质和溶剂的物质的量, 根据公式可以计算出不同的浓度。

解 已知: $m(\text{NaCl}) = 9.519 \text{ g}$, $M(\text{NaCl}) = 58.44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(\text{H}_2\text{O}) = 18.02 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $V = 30.00 \text{ mL}$ 。

30.00 mL 的溶液中水的质量为

$$m(\text{H}_2\text{O}) = (36.009 - 9.519) \text{ g} = 26.49 \text{ g}$$

(1) 求物质的量浓度

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

$$c(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl}) V} = \frac{9.519 \text{ g} \times 1000 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}}{58.44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 30.00 \text{ mL}} = 5.429 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

(2) 求质量摩尔浓度

根据 $b_B = \frac{n_B}{m_A}$, 可得

$$b(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl}) \cdot m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{9.519 \text{ g} \times 1000 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}}{58.44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 26.49 \text{ g}} = 6.149 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

(3) 求摩尔分数

根据 $x_B = \frac{n_B}{n}$, 可得

$$x(\text{NaCl}) = \frac{n(\text{NaCl})}{n(\text{NaCl}) + n(\text{H}_2\text{O})} = \frac{9.519 \text{ g} / (58.44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1})}{9.519 \text{ g} / (58.44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}) + 26.49 \text{ g} / (18.02 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1})} = 0.099$$

注 该题考查的是对溶液不同浓度定义的理解掌握情况, 只要对溶液不同浓度的定义有正确的理解, 则不难计算出相应的浓度。

浓度的各种表示法都有其自身的优点和相应的局限性。

物质的量浓度的优点在于: 在实验室配制该浓度的溶液很方便, 因为溶液体积的度量要比质量的度量来得容易, 但是溶液的体积与温度有关, 所以用物质的量浓度来表示时, 浓度的数值易受温度的影响。

质量摩尔浓度的优点在于: 该浓度表示法与溶液温度无关, 并可以用于溶液沸点及凝固点的计算, 但实验室配制时不如使用物质的量浓度方便。

摩尔分数的优点在于: 对于描述溶液的某些特殊性质(如蒸气压)时显得十分简便, 并且该表示法也与溶液的温度无关。

1.2 稀溶液的依数性

溶液共有两种性质, 一种性质与溶液中溶质自身的特性有关, 例如溶液的颜色、密度、酸碱性和导电性等; 另一种性质与溶液中溶质的独立质点数有关, 与溶质的自身特性无关, 例如溶液的蒸气压、凝固点、沸点和渗透压等。尤其要指出的是后一种性质, 对于难挥发的非电解质的稀溶液来说, 它们表现出一定的共性和规律性。这就是我们所说的稀溶液的依数性, 也被称为稀溶液的通性。

1.2.1 溶液蒸气压下降

设在一密闭容器中装有一种液体及其蒸气, 液体分子和蒸气分子都在不停运动。温度越高, 液体中具有较高能量的分子越多, 单位时间内由液相跑到气相的分子越多; 另一方面, 在气相中运动的分子碰到液面时, 有可能受到液面分子的吸引进入液相; 蒸气的压力越大, 则单位时间内由气相进入液相的分子越多。单位时间内汽化的分子数超过液化的分子数时, 宏观上观察到的是蒸气的压力逐渐增大。单位时间内当气体变成液体及液体变成气体的分子数目相等时, 测量出的蒸气的压力不再随时间而变化, 这种不随时间而变化的状态即是平衡状态。相之间的平衡称相平衡。达到平衡状态只是宏观上看不出来变化, 实际上微观上的变化并未停止, 只不过两种相反的变化速率相等, 这种平衡叫做动态平衡。

在一定温度下, 某种液体与其蒸气处于动态平衡时的蒸气压力, 即为该液体的饱和蒸气的压力称为饱和蒸气压, 简称为该液体的蒸气压(Vapor Pressure)。蒸气压与液体的本

性及温度有关,与液体的量以及液面上方空间体积无关。

蒸气压的大小与液体的本性有关。对某种纯溶剂而言,在一定温度下其蒸气压是一定的;在同一温度下,不同物质的蒸气压是不同的。一些液体的饱和蒸气压见表 1.4。

表 1.4 一些液体的饱和蒸气压(293.15 K)

物质	水	乙醇	苯	乙醚
蒸气压 /kPa	2.34	5.85	9.96	57.6

蒸气压的大小还与温度有关。温度不同,同一液体的蒸气压也不相同。温度越高,液体中具有较高能量的分子越多,单位时间内由液相跑到气相的分子越多,即蒸气压随温度的升高而增大。水的蒸气压与温度的关系见表 1.5。

表 1.5 不同温度下水的饱和蒸气压

温度 /K	273	283	293	303	313	323	333	343	373
蒸气压 /kPa	0.610 6	1.227 9	2.338 5	4.242 3	7.375 4	12.333 6	19.918 3	35.157 4	101.324 7

固体直接蒸发为气体,这一现象称为升华,因此固体也具有一定的蒸气压。大多数固体的蒸气压都很小,只有少数固体如冰、碘、樟脑等有较强的蒸气压。固体的蒸气压也随温度的升高而增大。

无论固体还是液体,蒸气压大的称为易挥发性物质,蒸气压小的称为难挥发性物质。本章讨论稀溶液依数性时,忽略难挥发性溶质的蒸气压,只考虑溶剂的蒸气压。

但是,当纯溶剂溶入难挥发的非电解质而形成溶液后,由于非电解质溶质分子占据了部分溶剂的表面,单位表面内溶剂从液相进入气相的速率减小,因而达到平衡时,溶液的饱和蒸气压(即溶液中溶剂的蒸气压)要比纯溶剂在同一温度下的蒸气压低。而这种蒸气压下降的程度仅与溶质的量相关,即与溶液的浓度有关,而与溶质的种类和本性无关。

这一现象称为溶液的蒸气压下降。法国科学家拉乌尔(Raoult)通过大量实验结果得出以下结论:在一定温度下,难挥发非电解质稀溶液的蒸气压下降值与溶液中溶质的量即其摩尔分数成正比,即

$$\Delta p = p_A^* x_B \quad (1.4)$$

式中 Δp ——溶液的蒸气压下降值;

p_A^* ——纯溶剂的蒸气压;

x_B ——溶质 B 的摩尔分数。

溶液的蒸气压降低对植物的生长过程有着很重要的作用。近代生物化学研究证明,当外界温度突然升高时,引起有机体细胞中可溶物大量溶解,从而增加细胞汁液的物质的组成量,降低了细胞汁液的蒸气压,减慢水分蒸发的速度,具有一定的抗旱作用。

1.2.2 溶液的沸点升高和凝固点降低

液体的沸点(Boiling Point)是指液体的饱和蒸气压等于外界压力时的温度。通常将 101.325 kPa 外压力下的沸点称为正常沸点(Normal Boiling Point)。如水的正常沸点为 373.15 K,乙醇的正常沸点为 351.55 K,苯的正常沸点为 353.25 K。液体的沸点,随着外