



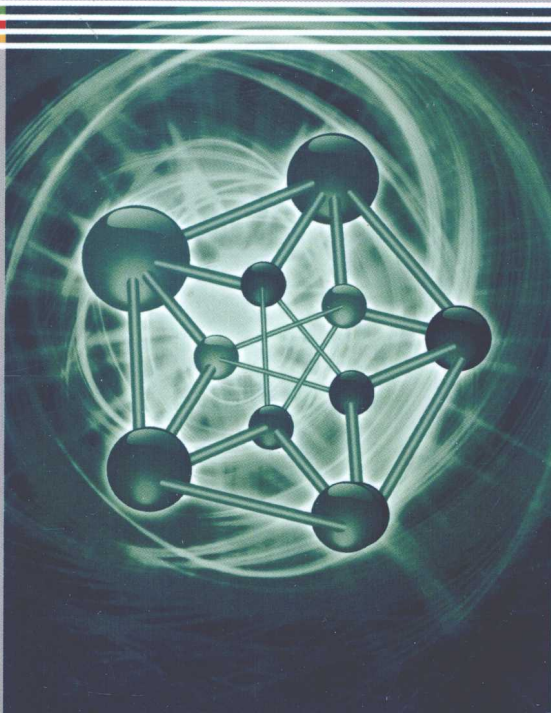
应用型本科院校规划教材

主 编 罗洪君

普通化学

General Chemistry

- 适用面广
- 应用性强
- 促进教学
- 面向就业



哈尔滨工业大学出版社

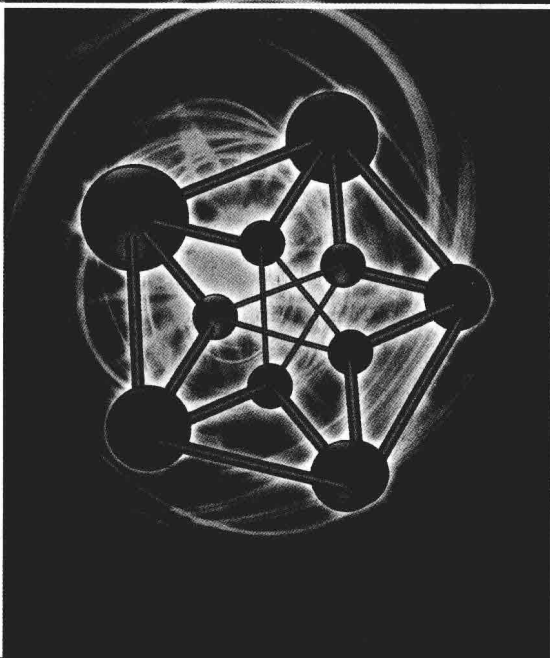


应用型本科院校规划教材

主 编 罗洪君
副主编 刘先军 郑秀君

普通化学

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、习题并在书后附有习题参考答案,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、冶金等专业的本科学生,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/罗洪君主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2010.8

应用型本科院校规划教材

ISBN 978-7-5603-3078-5

I. ①普… II. ①罗… 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(2010)第 158006 号

策划编辑 赵文斌 杜 燕

责任编辑 张 瑞 杜 燕

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 哈尔滨工业大学印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 18.5 字数 427 千字

版 次 2010 年 8 月第 1 版 2010 年 8 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-3078-5

定 价 33.80 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

《应用型本科院校规划教材》编委会

主 任 修朋月 竺培国

副主任 王玉文 吕其诚 线恒录 李敬来

委 员 (按姓氏笔画排序)

丁福庆 于长福 王凤岐 王庄严 刘士军

刘宝华 朱建华 刘金祺 刘通学 刘福荣

张大平 杨玉顺 吴知丰 李俊杰 李继凡

林 艳 闻会新 高广军 柴玉华 韩毓洁

藏玉英

序

哈尔滨工业大学出版社策划的“应用型本科院校规划教材”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,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。

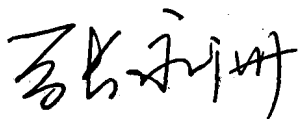
本系列教材突出与办学定位、教学目标的一致性和适应性,既严格遵照学科体系的知识构成和教材编写的一般规律,又针对应用型本科人才培养目标及与之相适应的教学特点,精心设计写作体例,科学安排知识内容,围绕应用

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。

黑龙江省教育厅厅长



2010 年元月于哈尔滨

前 言

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,尤其是审视独立院校在培养工程技术应用型人才的普通化学教育。以此必须框定课程教学的基本要求及相应的教材内容。因此,独立院校普通化学课程应该都是比较系统、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,把普通教材分为 3 部分,即基本理论、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。

本教材由罗洪君教授任主编,刘先军、郑秀君任副主编。具体分工为:第 1 章、第 3 章由刘先军编写,第 2 章由张欢编写,第 4 章由杨昕编写,第 5 章由郑秀君编写,第 6 章由吴亚超编写,第 7 章由许伟锋编写,第 8 章由王婧菲编写,第 9 章由程杰编写,第 10 章由黄继秋编写,第 11 章由曹雯雯编写,第 12 章由罗洪君选材编入,附录由刘宇整理,全书最后由罗洪君统稿处理。在本书编写过程中,刘怡秀也做了一些工作。

本教材的出版得到了哈尔滨师范大学博士生导师王玉文教授,大庆石油学院华瑞学院任福山教授、刘通学教授热心关怀与支持,得到大庆石油学院华瑞学院化学工程系全体教师的参与,是以上同志共同努力的结晶。本教材承蒙哈尔滨工业大学出版社审阅书稿并提出诸多宝贵意见。对以上同志的帮助一并深表谢意。

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

2010 年 5 月

目 录

第1章 溶液	1
1.1 分散系统	1
1.2 稀溶液的依数性	5
1.3 胶体分散系统	9
本章小结	16
习 题	17
第2章 化学热力学基础与化学平衡	21
2.1 基本规律	21
2.2 化学反应中的质量守恒与能量守恒	25
2.3 化学反应的方向——吉布斯自由能减少	34
2.4 化学反应的限度与化学平衡	43
本章小结	52
习 题	54
第3章 化学动力学	59
3.1 化学动力学的任务和研究目的	60
3.2 化学反应速率的定义及其表示方法	60
3.3 化学反应速率理论简介	61
3.4 影响化学反应速率的因素	65
本章小结	73
习 题	74
第4章 酸碱平衡与沉淀平衡	78
4.1 溶液中的酸碱平衡	78
4.2 沉淀溶解平衡	90
本章小结	95
习 题	97
第5章 电化学基础	100
5.1 原电池	100

5.2	电极电势	105
5.3	电动势与电极电势在化学中的应用	111
5.4	电解	116
5.5	金属的腐蚀及防治	120
	本章小结	123
	习 题	124
第 6 章	原子结构与元素周期律	128
6.1	核外电子的运动状态	128
6.2	原子轨道与电子云	132
6.3	多电子原子结构	135
6.4	电子层结构与周期表	139
6.5	元素基本性质的周期性变化	140
	本章小结	146
	习 题	147
第 7 章	化学键与分子结构	149
7.1	化学键理论	149
7.2	晶体结构	158
	本章小结	160
	习 题	161
第 8 章	滴定分析法	163
8.1	滴定分析法概述	163
8.2	酸碱滴定法	167
8.3	氧化还原滴定法	170
8.4	沉淀滴定法	174
8.5	配位滴定法	178
	本章小结	180
	习 题	180
第 9 章	配合物	182
9.1	配合物的基本概念	182
9.2	配合物的类型	186
9.3	配合物的价键理论	187
9.4	配合物的性质	199
9.5	配位平衡及配合物的稳定性	200
9.6	配合物的应用	204

本章小结.....	207
习 题.....	207
第 10 章 有机化学与高分子化学	210
10.1 有机化合物的特征及分类.....	210
10.2 有机化合物的命名.....	213
10.3 各类主要有机化合物的特征.....	215
10.4 高分子化合物的基本概念.....	226
10.5 高分子化合物的结构和性能.....	228
10.6 几种重要的高分子合成材料.....	229
本章小结.....	234
习 题.....	234
第 11 章 环境与化学	236
11.1 人类、环境和化学	236
11.2 当代重大的环境问题.....	238
11.3 绿色化学.....	244
本章小结.....	246
习 题.....	246
第 12 章 21 世纪的化学展望	247
12.1 21 世纪无机化学	247
12.2 21 世纪有机化学	252
12.3 21 世纪高分子化学	257
习题参考答案.....	262
附录.....	269
附录 1 我国法定计量单位	269
附录 2 基本物理常数	271
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	271
附录 4 酸、碱的解离常数	275
附录 5 容度积常数	276
附录 6 配离子稳定常数	278
附录 7 标准电极电势	278
参考文献.....	282

第 1 章

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。

溶液对动植物的生理活动也有很大意义。动物摄取食物里的养分,必须经过消化,变成溶液,才能吸收。在动物体内氧气和二氧化碳也是溶解在血液中进行循环的。在医疗上用的葡萄糖溶液和生理盐水、医治细菌感染引起的各种炎症的注射液、各种眼药水等,都是按一定的要求配成溶液使用的。植物从土壤里获得各种养料,也要成为溶液才能由根部吸收。土壤里含有水分,里面溶解了多种物质,形成土壤溶液,土壤溶液里就含有植物需要的养料。许多肥料,像农作物秸秆、野草等,在施用以前都要经过腐熟的过程,目的之一是使复杂的难溶的有机物变成简单的易溶的物质,这些物质能溶解在土壤溶液里,供农作物吸收。本章简要介绍一下与溶液相关的一些性质。

1.1 分散系统

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时所形成的系统。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真溶液、胶体分散系统和粗分散系统 3 类。

(1) 真溶液

真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 (Colloidal Dispersed System)

胶体分散系统是指分散相粒子直径介于 1 ~ 1 000 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 (Coarse Dispersed System)

粗分散系统是指分散相粒子直径大于 1 000 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。

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 1.1。

表 1.1 分散系统按聚集状态分类

分散相	分散介质	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. 溶液的一般概念和分类

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 1.2。

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。

表 1.2 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)	吸附了氢气的金属钅
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)

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. 溶液浓度的表示和比较

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、质量体积浓度、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 。

(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 。

(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 。

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。

例 1.1 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: $m(\text{NaCl}) = 9.519 \text{ g}$, $M(\text{NaCl}) = 58.44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(\text{H}_2\text{O}) = 18.02 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $V = 30.00 \text{ mL}$ 。

则 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

$$c(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl}) V} = \frac{9.519 \text{ g} \times 1000 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}}{58.44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 30.00 \text{ mL}} = 4.529 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

(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。

1.2 稀溶液的依数性

难挥发非电解质的稀溶液有一些特殊的共性, 这些共性与溶液中所含的溶质本性无关, 而仅仅与所含溶质的粒子数有关, 这种性质称为稀溶液的依数性, 亦称为稀溶液的通性。稀溶液的依数性主要有: 溶液蒸气压下降、溶液沸点升高、溶液凝固点降低(析出固体纯溶剂)、渗透压。

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压力,称为饱和蒸气压,简称为该液体的蒸气压。蒸气压与液体的本性及温度有关。对某种纯溶剂而言,在一定温度下其蒸气压是一定的。但是,当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(即溶液中溶剂的蒸汽压)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有关,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: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。

1.2.2 溶液沸点升高

沸点是指液体的饱和蒸气压等于外界压力时的温度。由于加入难挥发非电解质后的溶液蒸气压下降,所以在相同外压下,溶液的蒸气压达到外界压力所需的温度必然高于纯溶剂,因此溶液的沸点将上升,这一现象称为溶液的沸点升高。溶液的沸点升高值与溶液中溶质的质量摩尔浓度之间有如下关系

$$\Delta T_B = K_B b_B \quad (1.5)$$

式中 ΔT_B ——溶液的沸点升高值, K;

K_B ——溶剂的沸点升高常数, $K \cdot kg \cdot mol^{-1}$, 水的 K_B 为 $0.512 K \cdot kg \cdot mol^{-1}$;

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

1.2.3 溶液凝固点降低(析出固体纯溶剂)

凝固点是指物质的固相纯溶剂的蒸气压与它的液相蒸气压相等时的温度。纯水的凝固点又叫做冰点,为 273.15 K,此温度时水和冰的蒸气压相等。但在 273.15 K,水溶液的蒸气压低于纯水的蒸气压,所以,水溶液在 273.15 K 时不结冰。只有在更低的温度下,溶液的蒸气压才与冰的蒸气压相等,因此溶液的凝固点将下降。溶液的凝固点下降值与溶液中溶质的质量摩尔浓度之间有如下关系

$$\Delta T_f = K_f b_B \quad (1.6)$$

式中 ΔT_f ——溶液的凝固点下降值, K;

K_f ——溶剂的凝固点下降常数, $\text{K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$, 水的 K_f 为 $1.86 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$;

b_B ——溶液的质量摩尔浓度, $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

式(1.5)和(1.6)中的 K_b 、 K_f 的数值仅与溶剂的性质有关, 表 1.3 列出了常见溶剂的 K_b 、 K_f 值。

表 1.3 常见溶剂的 K_b 、 K_f 值

溶 剂	水	苯	醋 酸	氯 仿	四氯化碳
$K_b/(\text{K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1})$	0.52	2.57	3.07	3.88	5.02
$K_f/(\text{K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1})$	1.86	5.10	3.90	—	—

由溶液的蒸气压下降引起的沸点上升和凝固点下降, 可以通过水、冰和水溶液的蒸气压曲线得到很好的解释。

图 1.1 是水、冰和溶液的蒸气压曲线图。其中, AB 线是纯水的气、液两相平衡曲线, AC 线是水的气、固两相平衡曲线(冰的蒸气压曲线), A'B' 线是溶液的气、液两相平衡曲线。由图 1.1 可见, 当外界压力为 101.325 kPa 时, 纯水的沸点是 373.15 K, 而此时水溶液的蒸气压低于外压, 当溶液的蒸气压等于外压时, 相应的温度(即溶液的沸点)必高于 373.15 K, 其与 373.15 K 之间的差值就是溶液的沸点升高值。纯水的固、液两相蒸气压相等的温度为 273.15 K, 由于溶解了溶质, 273.15 K 时溶液的蒸气压低于冰的蒸气压, 当温度下降到 A' 点时, 固、液两相重新达到平衡, 即溶液的蒸气压等于冰的蒸气压。此时的温度即为溶液的冰点, 此点与纯水的凝固点 273.15 K 之间的差值就是溶液的凝固点下降值。

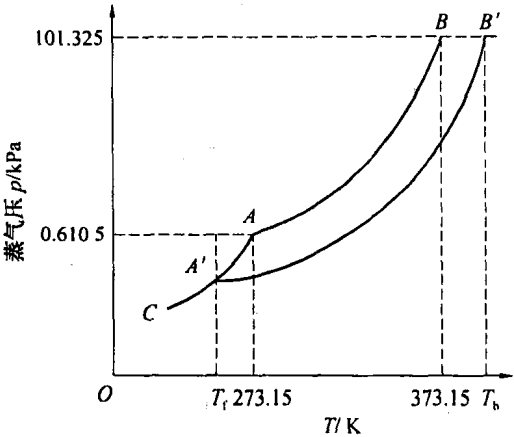


图 1.1 水溶液的沸点升高和凝固点下降示意图

1.2.4 渗透压

自然界中有一类物质, 只能让溶剂分子通过而不能让溶质分子通过, 这类物质称为“半透膜”。动物的组织膜, 如膀胱膜、精制肠衣等物质属天然的半透膜, 它们只能让水通过, 而不让其他溶质分子通过。沉淀在瓷筒上的亚铁氰化铜胶状薄膜或用溶于乙醚-乙醇混合溶液中的硝化纤维挥发后制成的胶膜等物质则属人工半透膜。

半透膜是一种特殊的多孔分离膜, 它可以选择性地让溶剂分子通过而不让溶质分子通过, 当用半透膜把溶剂和溶液隔开时, 纯溶剂和溶液中的溶剂都将通过半透膜向另一边扩散, 但是由于纯溶剂的蒸气压大于溶液的蒸气压, 所以溶剂将通过半透膜向溶液中扩散, 这一现象称为渗透。为了阻止这种渗透作用, 必须在溶液一边施加相应的压力。这种为了阻止溶剂分子渗透而必须在溶液上方施加的最小额外压力就是渗透压。图 1.2 就是渗透压的示意图。