

高职高专“十三五”规划教材

W U J I
J I
F E N X I
H U A X U E

无机及分析化学

李田霞 燕来敏 主编
潘祖亭 主审



化学工业出版社

高职高专“十三五”规划教材

无机及分析化学

主 编 李田霞 燕来敏
副主编 吴 蔚 贾新彦 余 莹 潘祖亭



化学工业出版社

· 北京 ·

《无机及分析化学》共分九章，主要内容包括溶液与胶体、化学实验基础知识、无机及分析化学的基本操作技术、定量分析基础、酸碱滴定技术、配位滴定技术、氧化还原滴定技术、沉淀滴定技术、常用的化学分离方法以及各种基础和应用性的滴定实验。每章末有目标检测，便于学生对课程内容更好地理解和应用。

本书在每章（除第2章外）的二维码中提供有拓展材料和自学材料，包括授课用演示文稿、实验视频等数字化教学资源。目标检测配有参考答案，供师生参考。

本书可作为高职高专制药技术类、食品类、生命科学类、化工类、环境类、医学类、农林类、材料类等应用型专业的“无机及分析化学”课程的教材，也可作为以上各相关专业成人教育、职业培训教材使用，还可供相关师生及分析测试工作者参考。

无机及分析化学

主 编 李田霞 燕来敏
主 编 董 余 高海霞 陈 昊
主 编 李田霞

图书在版编目 (CIP) 数据

无机及分析化学/李田霞, 燕来敏主编. —北京:
化学工业出版社, 2017.6
高职高专“十三五”规划教材
ISBN 978-7-122-29530-9

I. ①无… II. ①李…②燕… III. ①无机化学-
高等职业教育-教材②分析化学-高等职业教育-教材
IV. ①061②065

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 086863 号

责任编辑: 旷英姿 甘九林
责任校对: 宋 玮

文字编辑: 陈 雨
装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 北京云浩印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 12 $\frac{3}{4}$ 字数 295 千字 2017 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 32.00 元

版权所有 违者必究

前言

高职高专院校的许多学科和专业(食品、环保、质检、园艺、生物技术、生物制药、动物医学等)与化学紧密相连,为了适应这类专业人才的培养要求,结合高等职业技术教育的特点和当前学生的实际情况,我们在多年教学实践的基础上,参考大量相关资料,编写了这本《无机及分析化学》教材。

本书以培养应用型人才作为编写的指导思想,紧扣“实用为主,必需、够用和管用为度”的原则,充分考虑了高职高专类专业特点。编写时,将原无机化学和分析化学两门独立课程的教学内容精心遴选后进行有机整合,删除了较深奥的理论分析和阐述,精简复杂公式和繁琐计算的推导,力求做到既言简意赅、通俗易懂,又具有较完整的基础化学知识体系。在组织教材内容时,考虑到多个学校专业的特点,将分析化学基础知识和基本操作技能作为一个很重要的部分编写,以定量化学分析作为主干,以四大滴定技术为主线,使本教材既满足本门课程的需要,又为与相关平行课程和后续课程的衔接建立了一个很好的起点,同时也为将来从事有关化学及其检测工作、考取相关的职业资格证书奠定了扎实的基础。

本书的主要内容包括无机化学和分析化学的基础知识、基本原理和基本操作知识。将理论和实训有机结合,淡化理论的同时着重培养学生的实践技能,将实验实训类内容与主干教材贯穿在一起进行编写。为了培养学生的创新意识,在实训内容的选取和安排上,不仅注意实训的典型性、系统性,还注意与生物、食品、制药等学科相结合,强调知识的实用性、先进性、综合性和趣味性。为了达到较好的教学和学习效果,本书同时提供了演示文稿、教学视频及拓展材料等数字化课程,读者通过扫码即可看到,极大地丰富了知识的呈现形式,拓展了教材内容。目标检测配套有参考答案,供师生参考。

本书由武汉职业技术学院、长江职业学院、河南农业职业学院、湖北工业职业技术学院共同编写。编写人员有:李田霞(第6章)、燕来敏(第7、第9章)、吴蔚(第3、第5章)、贾新彦(第4章)、赵峥嵘(第2章)、余莹(第1、第8章)。视频的制作由武汉职业技术学院李田霞、吴蔚、周如意完成。全书由李田霞统稿,武汉大学潘祖亭教授对全书进行了审定。

限于我们的学识和水平,本书虽经多次讨论修改,缺点和错误仍在所难免,恳请同行和读者批评指正,以俟再版时订正。

编者
2017 年

第1章 溶液与胶体

1.1 溶液	1
1.1.1 分散系	1
1.1.2 溶液	2
1.1.3 电解质溶液	5
1.2 稀溶液的通性	5
1.2.1 溶液的蒸气压下降	5
1.2.2 溶液的沸点升高	6
1.2.3 溶液的凝固点降低	7
1.2.4 溶液的渗透压	9
1.3 胶体溶液	11
1.3.1 胶体溶液的性质	11
1.3.2 胶体结构	13
1.3.3 溶胶的稳定性和聚沉作用	13
1.4 高分子溶液	14
拓展材料	16
自学材料	16
目标检测	16
技能训练一 溶液标签的书写内容及格式	17
技能训练二 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体的制备	18

第2章 化学实验基础知识

2.1 化学试剂	20
2.1.1 化学试剂的规格	20
2.1.2 化学试剂的选用	21
2.1.3 化学试剂的贮存与保管	21
2.2 化学实验室常用器皿	22
2.2.1 玻璃仪器	22
2.2.2 其他器具	27
2.3 实验室用水	29
2.3.1 实验室用水的级别	29
2.3.2 实验室用水的制备方法	29

2.4 玻璃仪器的洗涤	30
2.4.1 洗涤剂	30
2.4.2 洗涤方法	31
2.4.3 仪器的干燥	32
2.5 分析试样的采集与制备	32
2.5.1 试样的采集	32
2.5.2 试样的制备	33
2.5.3 试样的分解	34
2.6 化学实验室安全防护	36
2.6.1 实验室安全规则	36
2.6.2 意外事故的处置	36
自学材料	37

第3章 定量分析基础

3.1 分析化学的任务和分类	38
3.1.1 分析化学的任务	38
3.1.2 分析方法的分类	39
3.1.3 试样分析的程序	40
3.2 定量分析中的误差	40
3.2.1 误差的来源及减免方法	41
3.2.2 误差和偏差的表示方法	42
3.2.3 定量分析的结果评价	43
3.2.4 提高分析结果准确度的方法	44
3.3 分析数据的处理	44
3.3.1 有效数字	44
3.3.2 有效数字的运算规则	45
3.4 滴定分析法概述	45
3.4.1 滴定分析法相关术语	46
3.4.2 滴定分析法对化学反应的要求	46
3.4.3 滴定分析法的分类	46
3.4.4 基准物质和标准溶液	48
3.4.5 滴定分析法中的计算	50
拓展材料	51
自学材料	51
目标检测	51

第4章 无机及分析化学的基本操作技术

4.1 分析天平使用技术	54
4.1.1 天平的分类	54
4.1.2 电子分析天平的构造	54

4.1.3	分析天平的称量方法	55
4.2	溶液的配制与标定技术	57
4.2.1	容量瓶	57
4.2.2	移液管和吸量管	58
4.2.3	溶液的配制方法	60
4.2.4	溶液的标定方法	60
4.3	滴定操作技术	61
4.3.1	常用的滴定仪器	61
4.3.2	滴定技术	62
4.4	酸度计的使用技术	64
4.4.1	酸度计简介	64
4.4.2	酸度计的使用方法	65
4.5	蒸发与结晶、重结晶	66
	拓展材料	67
	自学材料	67
	目标检测	67
	技能训练一 分析天平称重练习	68
	技能训练二 盐酸溶液的配制与标定	70
	技能训练三 氢氧化钠溶液的配制与标定	71
	技能训练四 $K_2Cr_2O_7$ 标准溶液的配制	73
	技能训练五 用 pH 计测定缓冲溶液的 pH	73
	综合实训 粗盐的提纯	74
	基本操作技能视频	76

第 5 章 酸碱滴定技术

5.1	酸碱质子理论	77
5.1.1	酸碱质子的概念	77
5.1.2	酸碱反应的实质	78
5.2	溶液的酸碱平衡及 pH 计算	79
5.2.1	水的解离平衡与离子积常数	79
5.2.2	弱酸、弱碱的解离平衡	79
5.2.3	溶液 pH 的计算	81
5.2.4	酸碱缓冲溶液	82
5.3	酸碱滴定法	85
5.3.1	酸碱指示剂	85
5.3.2	酸碱标准溶液的配制和标定	88
5.3.3	终点误差	90
5.3.4	酸碱滴定法的应用	90
	拓展材料	92

自学材料	92
目标检测	92
技能训练一 阿司匹林药片中乙酰水杨酸的检测	94
技能训练二 碳酸氢钠药片中有效成分的测定	95
综合实训 药用乙酸总酸度的测定	96

第6章 氧化还原滴定技术

6.1 氧化还原反应	99
6.1.1 基本概念	99
6.1.2 氧化还原反应方程式的配平	101
6.2 电极电势	102
6.2.1 原电池	102
6.2.2 电极电势与标准氢电极	103
6.2.3 电极电势的应用	106
6.3 氧化还原滴定法	108
6.3.1 高锰酸钾法	108
6.3.2 重铬酸钾法	110
6.3.3 碘量法	111
拓展材料	114
自学材料	114
目标检测	115
技能训练一 双氧水中过氧化氢含量的测定	116
技能训练二 铜合金中铜含量的测定	118
综合实训 黄连素片中盐酸小檗碱的测定	120

第7章 配位滴定技术

7.1 配合物与螯合物	123
7.1.1 配合物	123
7.1.2 螯合物	126
7.2 配位平衡	127
7.2.1 配位平衡常数	127
7.2.2 配位平衡的移动	128
7.3 EDTA 及其配合物	130
7.3.1 EDTA 的性质及其解离平衡	130
7.3.2 EDTA 与金属离子配合反应的特点	131
7.3.3 EDTA 配合物的解离平衡	132
7.4 配位滴定法	134
7.4.1 EDTA 标准溶液的配制与标定	135
7.4.2 金属离子指示剂	135
7.4.3 配位滴定的方式及应用	136

拓展材料·····	139
自学材料·····	139
目标检测·····	139
技能训练一 胃舒平药片中 Al、Mg 含量的检测·····	140
技能训练二 自来水总硬度的检测·····	144
综合实训 蛋壳中碳酸钙含量的测定·····	146

第 8 章 沉淀滴定技术

8.1 沉淀溶解平衡及其影响因素·····	149
8.1.1 溶度积·····	149
8.1.2 沉淀溶解平衡·····	151
8.1.3 分步沉淀·····	152
8.1.4 沉淀的转化·····	152
8.2 沉淀滴定法·····	153
8.2.1 莫尔法·····	153
8.2.2 佛尔哈德法·····	154
8.2.3 法扬司法·····	155
8.3 沉淀滴定法的应用·····	157
8.3.1 标准溶液的配制和标定·····	157
8.3.2 应用实例·····	157
8.4 重量分析法简介·····	157
拓展材料·····	158
自学材料·····	158
目标检测·····	158
技能训练一 酱油中 NaCl 含量的检测(莫尔法)·····	159
技能训练二 酱油中 NaCl 含量的测定(佛尔哈德法)·····	161

第 9 章 常用的化学分离方法

9.1 化学分离的意义及回收效果·····	163
9.1.1 分离与富集·····	163
9.1.2 分离与富集的效果评价·····	163
9.2 沉淀分离法·····	164
9.2.1 常用的沉淀分离法·····	164
9.2.2 沉淀分离法的应用·····	167
9.3 萃取分离法·····	167
9.3.1 溶剂萃取分离的基本原理·····	167
9.3.2 主要的溶剂萃取体系·····	169
9.3.3 萃取分离法的应用·····	170
9.4 色谱法·····	171
9.4.1 柱色谱法·····	171

9.4.2	纸色谱法	172
9.4.3	薄层色谱法	173
	拓展材料	174
	自学材料	174
	目标检测	174
	技能训练 纸色谱法分离鉴定氨基酸	175

附录

附录 1	弱酸及其共轭碱在水中的解离常数 (25℃, $I=0$)	178
附录 2	部分氧化还原电对的标准电极电势 $\varphi^\ominus$	179
附录 3	难溶化合物的溶度积常数 (18~25℃, $I=0$)	179
附录 4	元素的原子量表	180
附录 5	常见化合物的分子量表	181

参考答案

参考文献

第1章

Chapter 01

溶液与胶体

溶液是两种或两种以上的物质所形成的混合物，这些物质在分子层次上是均匀的，即分散程度达到分子水平。溶液是各部分的化学组成和物理性质皆相同的一个均相体系。溶液是物质的主要存在形态之一，广泛存在于自然界之中，在科研和工农业生产及人类生活中有着重要的意义。人们的日常生活用水就含有一定矿物质的水溶液；大部分的化学反应都是在水溶液中进行的；生物体内的各种生理、生化反应也都是在溶液中进行的。胶体（溶胶）作为物质的另一种存在形态，由于它较大的表面积，因而具有显著的吸附能力，胶体的许多性质都与此有关，使其在科研和工农业生产中也具有极为重要的作用。

1.1 溶液

1.1.1 分散系

物质除了以气态、液态和固态的形式单独存在以外，大多数是以一种（或几种）物质分散在另一种物质中构成混合体系的形式存在的。例如，氯化钠分散在水中形成生理盐水，黏土微粒分散在水中形成泥浆，奶油、蛋白质和乳糖等分散在水中形成牛奶，水滴分散在空气中就形成了雾。这些混合体系称为分散系。在分散系中，被分散了的物质称为分散质，它是不连续的；容纳分散质的物质称为分散剂，它是连续的。如生理盐水中，氯化钠是分散质，水是分散剂。在分散系内，分散质和分散剂可以是气体、液体和固体三种聚集状态中的任何一种，这样就可以组成多种不同的分散系。按分散质和分散剂的聚集状态不同，分散系可分为以下几类，见表 1-1。

表 1-1 分散系按聚集状态的分类

分散质	分散剂	举例
气	气	空气、煤气
气	液	汽水、泡沫
气	固	木炭、海绵、泡沫塑料
液	气	云、雾
液	液	石油、豆浆、牛奶、白酒、一些农药乳浊液
液	固	硅胶、冻肉、珍珠
固	气	烟、灰尘
固	液	泥浆、糖水、溶胶、油漆
固	固	有色玻璃、合金、矿石

按分散质粒子直径的大小，常把液态分散系分为三类：低分子或离子分散系、胶体分散系和粗分散系，见表 1-2。

表 1-2 分散系按分散质粒子直径大小的分类

分散系类型	低分子、离子分散系 (溶液)	胶体分散系 (溶胶、高分子溶液)	粗分散系 (乳浊液、悬浊液)
分散质粒子直径/nm	<1	1~100	>100
分散质	小分子或离子	大分子、分子的小聚集体	分子的大聚集体
主要性质	透明、均匀、最稳定；能透过滤纸与半透膜，扩散速度快；不管是普通显微镜还是超显微镜都看不见	透明、不均匀，稳定；能透过滤纸但不能透过半透膜，扩散速度慢；普通显微镜看不见，超显微镜下可分辨	不透明，不稳定；不能透过滤纸，扩散很慢；普通显微镜下可能看见
实例	生理盐水	氢氧化铁、碘化银溶胶	泥浆、牛奶、农药乳剂

根据分散相粒子的大小，将分散相体系分成低分子或离子分散系（粒子直径 $<1\text{nm}$ ）；胶体分散体系（粒子直径为 $1\sim100\text{nm}$ ）；粗分散体系（分散质粒子直径 $>100\text{nm}$ ）。

(1) 低分子或离子分散系

在低分子或离子分散系中，分散质粒子的直径 $<1\text{nm}$ ，它们是一般的分子或离子，与分散剂的亲和力极强，因而组成了均匀、无界面、高度分散、高度稳定的单相系统。

(2) 胶体分散系

在胶体分散系中，分散质的粒子直径为 $1\sim100\text{nm}$ ，它包括溶胶和高分子溶液两种类型。

① 溶胶 其分散质粒子是由一般的分子组成的小聚集体，这类难溶于分散剂的固体分散质高度分散在液体分散剂中，所形成的分散系称为溶胶（或称为胶体）。例如，氯化银溶胶、氢氧化铁溶胶、硫化砷溶胶等。在溶胶中，分散质和分散剂的亲和力不强，因而溶胶是高度分散的、不均匀、不稳定的多相系统。

② 高分子溶液 如淀粉溶液、纤维素溶液、蛋白质溶液等，分散质粒子是单个的大分子，与分散剂的亲和力强，故高分子溶液是高度分散、稳定的单相系统。

(3) 粗分散系

在粗分散系中，分散质粒子直径 $>100\text{nm}$ ，是一个极不稳定的多相系统。按分散质的聚集状态不同，粗分散系可以分为乳浊液和悬浊液。液体分散质分散在液体分散剂中，称为乳浊液，如牛奶；固体分散质分散在液体分散剂中，称为悬浊液，如泥浆。由于分散质的粒子大，容易聚沉，分散质也容易从分散剂中分离出来。

虽然这三类分散系的性质有明显差异，但是划分它们的界线是相对的。因此，分散系之间性质和状态的差异也是逐步过渡的。

1.1.2 溶液

由两种或两种以上不同物质所组成的均匀、稳定的液相体系，称为溶液。通常所说的溶液是指液态溶液，由溶剂和溶质组成。水是最常用的溶剂，习惯上用 A 代表溶剂，用 B 代表溶质。溶液的浓度是指一定量溶液或溶剂中所含溶质的量，其表示方法有多种。

(1) 物质的量浓度

物质的量浓度（简称为浓度）是指单位体积溶液中含有溶质 B 的物质的量，常用 c_B

表示。

$$c_B = n_B / V \quad (1-1)$$

式中, n_B 为溶质 B 的物质的量, mol; V 为溶液体积, L 或 dm^3 ; c_B 为物质 B 的浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 或 $\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$; B 是溶质的基本单元。

【例 1-1】 浓盐酸的密度为 $1.19 \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$, HCl 含量为 37%, 求浓盐酸的浓度。若配制浓度为 $2.0 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸溶液 500mL, 应取浓盐酸多少毫升?

解

$$\begin{aligned} c_{\text{HCl}} &= \frac{n_{\text{HCl}}}{V_{\text{HCl}}} \\ &= \frac{m_{\text{HCl}}}{V_{\text{HCl}} M_{\text{HCl}}} \\ &= \frac{1000 \times 1.19 \times 37\%}{1000 \times 36.46} \\ &\approx 12 \text{ (mol} \cdot \text{L}^{-1}) \end{aligned}$$

$$c_{\text{HCl}} V_{\text{HCl}} = c'_{\text{HCl}} V'_{\text{HCl}}$$

$$\text{因此: } V_{\text{HCl}} = \frac{c'_{\text{HCl}} V'_{\text{HCl}}}{c_{\text{HCl}}} = \frac{2.0 \times 500}{12} = 83 (\text{mL})$$

【例 1-2】 欲配制 $0.2000 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Na_2CO_3 溶液 1.000L, 求应称取基准 Na_2CO_3 的量。

解

$$\begin{aligned} \frac{m_{\text{Na}_2\text{CO}_3}}{M_{\text{Na}_2\text{CO}_3}} &= c_{\text{Na}_2\text{CO}_3} V_{\text{Na}_2\text{CO}_3} \\ m_{\text{Na}_2\text{CO}_3} &= c_{\text{Na}_2\text{CO}_3} V_{\text{Na}_2\text{CO}_3} M_{\text{Na}_2\text{CO}_3} \\ &= 0.2000 \times 1.000 \times 106.0 \\ &= 21.20 (\text{g}) \end{aligned}$$

在使用物质的量浓度时必须确定溶质的基本单元。同种溶质的基本单元不同, 物质的量浓度也不相同。物质的基本单元可以是分子、离子、原子、电子及其他粒子或这些粒子的特定组合, 如 H^+ 、 H_2SO_4 、 H_3PO_4 等都可以作为溶质的基本单元。因此, 在使用物质的量浓度时, 必须注明物质的基本单元, 否则容易引起混乱。

由于溶液的体积随温度而变, 所以物质的量浓度也随温度变化而改变。为了避免温度对数据的影响, 常使用不受温度影响的浓度表示方法, 如质量摩尔浓度、摩尔分数、质量分数等。

(2) 质量摩尔浓度

质量摩尔浓度是指每千克溶剂中所含溶质的物质的量, 用 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, mol; m_A 为溶剂的质量, kg。所以, 质量摩尔浓度的单位为 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。由于物质的质量不受温度的影响, 所以质量摩尔浓度是一个与温度无关的物理量。

【例 1-3】 100.0g 溶剂水中溶有 2.00g 甲醇, 求该溶液的质量摩尔浓度。

解 甲醇 (CH_3OH) 的摩尔质量为 $32.0 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

$$b_{\text{CH}_3\text{OH}} = \frac{n_{\text{CH}_3\text{OH}}}{m_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{2.00 \times 1000}{32.0 \times 100.0} = 0.625 (\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1})$$

该溶液的质量摩尔浓度为 $0.625 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

(3) 摩尔分数

溶液某组分的摩尔分数是该组分的物质的量占溶液中所有物质总的物质的量的分数，也叫物质的量分数，用 x 表示，其量纲为 1。

对于多组分系统溶液来说，某组分 A 的摩尔分数为： $x_A = n_A / \Sigma n$ ， n_A 为系统中物质 A 的物质的量。

对于双组分系统的溶液来说，若溶质的物质的量为 n_B ，溶剂的物质的量为 n_A ，则其摩尔分数分别为：

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

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

则 $x_A + x_B = 1$ ，对于多组分系统来说有 $\Sigma x_i = 1$ 。

(4) 质量分数

混合系统中，某组分 B 的质量与混合物总质量之比，称为组分 B 的质量分数，用 w_B 表示，其量纲为 1。质量分数是不随温度变化而变化的。

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

质量分数，以前常称质量百分浓度。

【例 1-4】 在常温下取 NaCl 饱和溶液 10.00 mL，测得其质量为 12.00 g，将溶液蒸干，得 NaCl 固体 3.173 g，求：① NaCl 饱和溶液的物质的量浓度；② NaCl 饱和溶液的质量摩尔浓度；③ 饱和溶液中 NaCl 和 H_2O 的摩尔分数；④ NaCl 饱和溶液的质量分数。

解 ① NaCl 饱和溶液的物质的量浓度为：

$$c_{\text{NaCl}} = \frac{n_{\text{NaCl}}}{V} = \frac{3.173}{58.44 \times 10.00 \times 10^{-3}} = 5.43 (\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$$

② NaCl 饱和溶液的质量摩尔浓度为：

$$b_{\text{NaCl}} = \frac{n_{\text{NaCl}}}{m_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{3.173}{58.44 \times (12.00 - 3.173) \times 10^{-3}} = 6.15 (\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1})$$

③ 饱和溶液中 NaCl 和 H_2O 的摩尔分数为：

$$n_{\text{NaCl}} = 3.173 / 58.44 = 0.0543 (\text{mol})$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = (12.00 - 3.173) / 18.00 = 0.4904 (\text{mol})$$

$$x_{\text{NaCl}} = \frac{n_{\text{NaCl}}}{n_{\text{NaCl}} + n_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{0.0543}{0.0543 + 0.4904} = 0.10$$

$$x_{\text{H}_2\text{O}} = 1 - x_{\text{NaCl}} = 1 - 0.10 = 0.90$$

④ NaCl 饱和溶液的质量分数为：

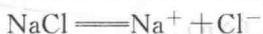
$$\omega_{\text{NaCl}} = \frac{m_{\text{NaCl}}}{m_{\text{NaCl}} + m_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{3.173}{12.00} = 0.2644 = 26.44\%$$

消毒用的医用酒精（乙醇）的浓度为 75%，是指 100mL 这种酒精溶液中含纯酒精 75mL，实为体积分数。

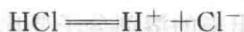
在水质分析或环境保护方面，过去常用百万分浓度（ppm）和十亿分浓度（ppb）。ppm 是指每千克溶液中含溶质的质量（单位：mg）。ppb 是指每千克溶液中含溶质的质量（单位：μg）。

1.1.3 电解质溶液

酸、碱和盐都是电解质。大多数盐和强碱是离子型化合物，它们溶于水时，与极性的水分子结合成水合离子，这个过程可简单表示为：



大多数强酸的分子具有很强的极性，溶于水时也可形成水合离子，简写为：



强酸、强碱和各种盐在水溶液中全部以离子形式存在，故称它们为强电解质，在水溶液中完全解离。

弱酸和弱碱在水溶液中，大部分以分子形式存在，只有少部分发生解离。

1.2 稀溶液的通性

溶液的性质既不同于纯溶剂，也不同于纯溶质。溶液的性质可分两类：第一类性质与溶质的本性及溶质和溶剂的相互作用有关，如溶液的颜色、密度、气味、导电性等。第二类性质与溶质的本性无关，只取决于溶液中溶质的粒子数目，如稀溶液的蒸气压下降、沸点升高、凝固点降低和渗透压等。这些与溶质的性质无关，只与溶液的浓度（即溶液中溶质的粒子数）有关的性质称为稀溶液的依数性。在非电解质的稀溶液中，溶质粒子之间及溶质粒子与溶剂粒子之间的作用很微弱，因此稀溶液的依数性呈现明显的规律性变化，溶液浓度越稀，这种依数性越强。在浓溶液中，由于粒子之间的作用较明显，溶液的性质受到溶质的影响，因此情况比较复杂。本节主要讨论难挥发的非电解质的稀溶液的依数性。

1.2.1 溶液的蒸气压下降

将液体置于密闭的容器中，液体中的部分分子会克服其他分子对它的吸引而逸出，成为蒸气分子，这个过程叫做蒸发。同时，液面附近的蒸气分子又可能被液体分子吸引重新回到液体中，这个过程叫凝聚。在一定温度下，将纯液体置于真空容器中，当蒸发速率与凝聚速率相等时，液体上方的蒸气所具有的压力称为该温度下液体的饱和蒸气压（简称蒸气压）。

任何纯液体在一定温度下都有确定的蒸气压，且随温度的升高而增大。当纯溶剂溶解一定量的难挥发溶质时，在同一温度下，溶液的蒸气压总是低于纯溶剂的蒸气压，这种现

象称为溶液的蒸气压下降。越是容易挥发的液体，蒸气压就越大。在一定温度下，每种液体的蒸气压是固定的。例如，20℃时，水的蒸气压为 2.33kPa，酒精的蒸气压为 5.85kPa。因为蒸发时要吸热，所以温度升高时，将使液体和它的蒸气之间的平衡向生成蒸气的方向移动，使单位时间内变成蒸气的分子数增多，因而液体蒸气压随温度的升高而增大，见表 1-3。

表 1-3 不同温度时水的蒸气压

温度/℃	0	20	40	60	80	100	120
蒸气压/kPa	0. 61	2. 33	7. 37	19. 92	47. 34	101. 33	202. 65

实验证明，液体中溶解有难挥发的溶质时，液体的蒸气压便下降，因此，在同一温度下，溶液的蒸气压总是低于纯溶剂的蒸气压。因为难挥发的溶质的蒸气压一般都很小，所以在里所指的溶液的蒸气压，实际上是指溶液中溶剂的蒸气压。纯溶剂蒸气压与溶液蒸气压之差，称为溶液的蒸气压下降 (Δp)。

蒸气压下降的原因是溶剂中溶入溶质后，溶液的一部分表面被溶质分子占据，使单位面积上的溶剂分子数减少，同时溶质分子和溶剂分子的相互作用，也能阻碍溶剂的蒸发。因此，在单位时间内从溶液中蒸发出来的溶剂分子要比纯溶剂少。故在蒸发和凝聚达到平衡时，溶液的蒸气压必然比纯溶剂的蒸气压小。

在一定温度下，难挥发非电解质稀溶液的蒸气压等于纯溶剂的蒸气压乘以溶剂在溶液中的摩尔分数，这种定量关系称为拉乌尔定律，其数学表达式为：

$$p = p^0 x_A \tag{1-5}$$

式中， p^0 为纯溶剂的饱和蒸气压； p 为溶液的蒸气压； x_A 为溶剂的摩尔分数。

因为 $x_A + x_B = 1$ (x_B 为溶质的摩尔分数)，则：

$$p = p^0 (1 - x_B) = p^0 - p^0 x_B \tag{1-6}$$

$$\Delta p = p^0 - p = p^0 x_B \tag{1-7}$$

即在一定温度下，稀溶液的蒸气压和溶质的摩尔分数成正比。

在稀溶液中， n_A 为溶剂的物质的量， n_B 为溶质的物质的量。因此：

由
$$x_B = \frac{n_B}{n_A + n_B}, \text{ 知 } x_B \approx \frac{n_B}{n_A}, \text{ 所以 } \Delta p \approx p^0 \frac{n_B}{n_A} \tag{1-8}$$

在一定温度下，对于一种溶剂来说， p^0 为定值。若溶剂为 1000g，溶剂的摩尔质量为 M_A ，令 $p^0 M_A = k$ ，则：

$$\Delta p \approx p^0 \frac{n_B}{n_A} = p^0 \frac{M_A n_B}{1000} = k b_B \tag{1-9}$$

k 是一个常数，所以拉乌尔定律也可以表示为：在一定温度下，难挥发非电解质稀溶液的蒸气压和溶液的质量摩尔浓度 b_B 成正比。

1. 2. 2 溶液的沸点升高

当液体的蒸气压等于外界大气压时，液体沸腾，此时的温度就是该液体的沸点。例如，在 373. 15K (100℃) 时，水的蒸气压与外大气压 (101. 3kPa) 相等，所以水的沸点是 373. 15K (100℃)。

如果在水中溶有难挥发的溶质，溶液的蒸气压会下降。要使溶液的蒸气压和外界大气压相等，就必须升高溶液的温度，所以溶液的沸点总是高于纯溶剂沸点，其升高值为 Δt_b ，见图 1-1。如在常压下海水的沸点高于 373.15K 就是这个道理。

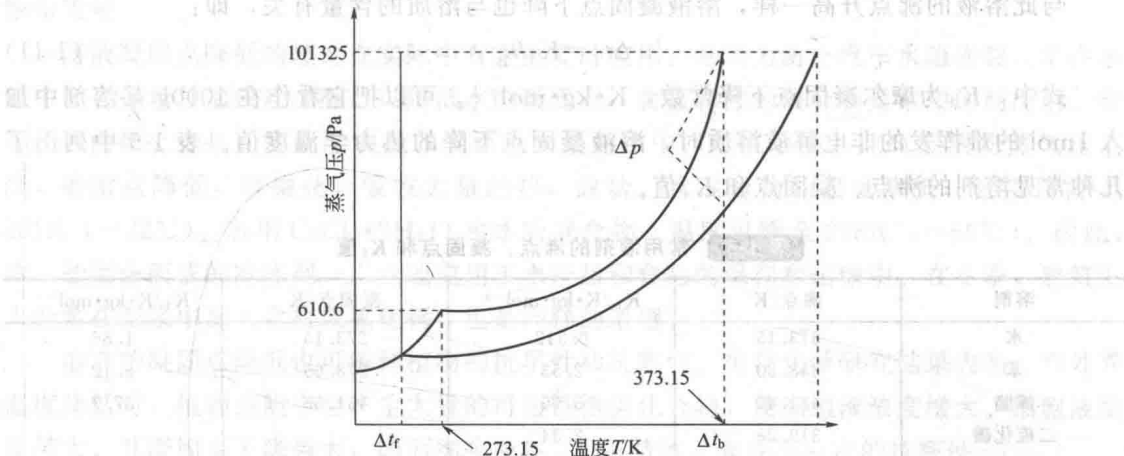


图 1-1 水、冰和溶液的蒸气压曲线图

若用 t_b^* 、 t_b 分别表示纯溶剂的沸点和溶液的沸点，则沸点升高值 $\Delta t_b = t_b^* - t_b$ ，与溶液的蒸气压下降一样，也可导出：

$$\Delta t_b = K_b b_B \tag{1-10}$$

式中， K_b 为溶剂摩尔沸点升高常数，单位为 $K \cdot kg \cdot mol^{-1}$ ； b_B 只取决于溶剂本身的性质，而与溶质无关，不同溶剂的 b_B 值不同。

在实际生活中也会遇到这种现象，如高原地区由于空气稀薄，气压较低，故水的沸点低于 100℃；对于含有植物油量大的汤，喝时会感到格外烫，可以解释为汤是含有盐的水溶液，其沸点要高于 100℃，而表面的油层又起了保温作用，因此喝时感到格外的烫。另外在生产和实践中，对那些在较高温度时易分解的有机溶剂，常采用减压（或抽真空）操作进行蒸发，不仅可以降低沸点，也可以避免一些产品因高温分解而影响质量和产量。

1.2.3 溶液的凝固点降低

固体也或多或少地蒸发，因而也具有一定的蒸气压。在一般情况下，固体的蒸气压都很小。和液体一样，在一定温度下，固体的饱和蒸气压也为一个定值。固体的蒸发也要吸热，所以固体的蒸气压随温度的升高而增大。冰在不同温度下的蒸气压见表 1-4。

表 1-4 冰在不同温度下的蒸气压

温度/℃	-20	-15	-10	-5	0
蒸气压/kPa	0.11	0.16	0.25	0.40	0.61

0℃时，水和冰共存，这时水和冰的蒸气压都是 0.61kPa。物质的液态和固态的蒸气压相等时的温度（或物质的液相和固相共存时的温度）称为该物质的凝固点。

当在 0℃的冰水两相平衡共存系统中，加入难挥发的非电解质后，会引起液相水的蒸气压下降，而固相冰的蒸气压则不会改变，所以冰的蒸气压高于水的蒸气压，于是冰就要