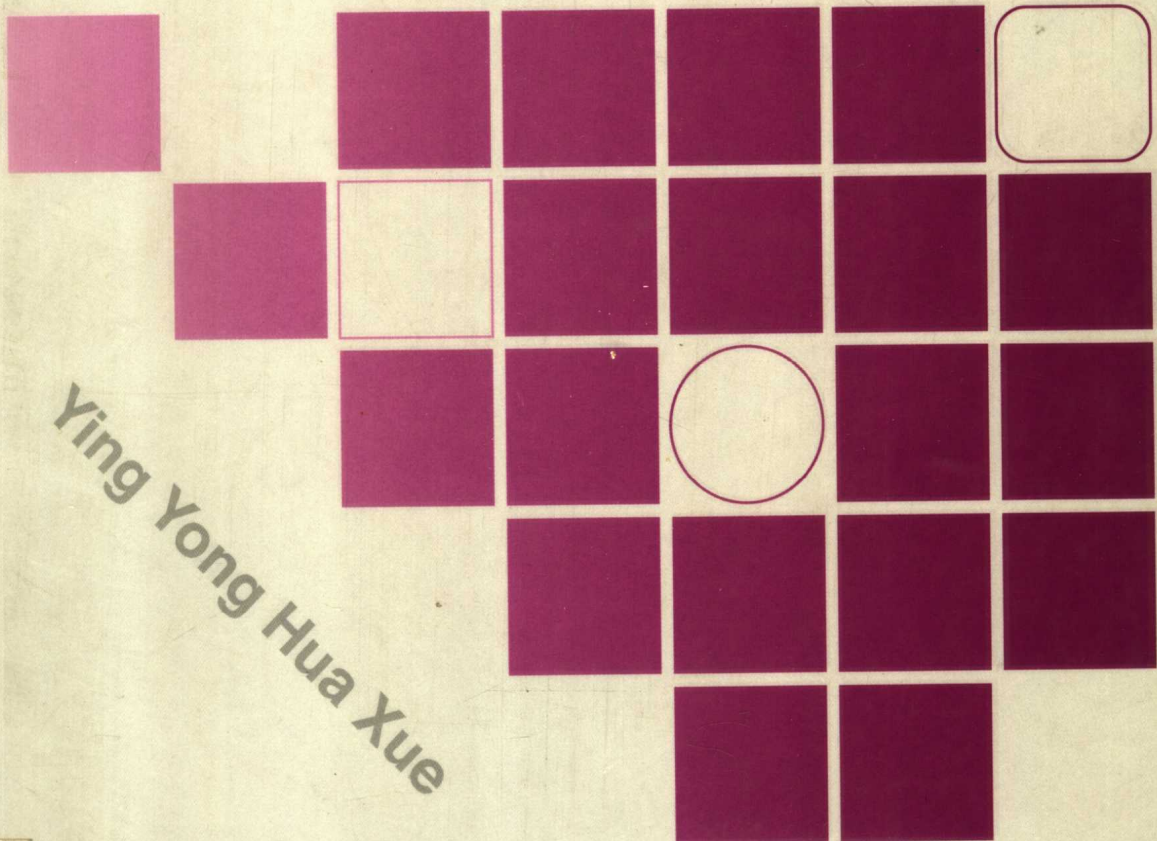


高等专科学校 环境类系列教材
高等职业技术学院

应用化学

高红武 周 清 主编



Ying Yong Hua Xue

中国环境科学出版社

高职高专环境类系列教材

应 用 化 学

高红武 周 清 主编
杜重麟 张云梅 副主编

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

应用化学 / 高红武, 周清主编. —北京: 中国环境科学出版社, 2005.8

(高职高专环境类教材: 第2批)

ISBN 7-80209-199-3

I. 应… II. ①高 ②周… III. 应用化学—高等学校: 技术学校—教材 IV. 069

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 078113 号

环境科学与工程出版中心

电话(传真): 010-67112735

网 址: www.cesp.cn

电子信箱: sanyecao@cesp.cn

本中心立足于出版环境科学与工程类专业图书。以服务为宗旨, 以市场为导向。做绿色文明的倡导者, 充当环境文化的传播者。

责任编辑: 黄晓燕

出版发行 中国环境科学出版社

(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)

网 址: <http://www.cesp.cn>

电子信箱: bianji1@cesp.cn

电话(传真): 010-67133437

印 刷 北京东海印刷有限公司

经 销 各地新华书店

版 次 2005 年 9 月第一版

印 次 2005 年 9 月第一次印刷

印 数 1—5 000

开 本 787×960 1/16

印 张 33

字 数 520 千字

定 价 36.00 元

【版权所有, 请勿翻印、转载, 违者必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

前言

我们的教育目标是培养具有全面素质的人才,所谓素质,是指人的生理、心理、知识和技能等要素的总和。包括良好的文化知识基础、适应当前就业的技能以及进一步接受教育和培训的能力;还应具有良好的思维分析判断能力、良好的理解表达能力、强烈的社会责任感和敬业精神等。素质的培养不是加强一二门课程或个别教学环节所能奏效,而是要通过扎实的文化科学教育、实践技能训练以及思想品德熏陶等多方面多环节才能完成。作为自然科学的重要组成部分,化学对培养学生素质起着不可缺少的作用。例如,通过化学原理(充满量变和质变、内因和外因、化合和分解、氧化和还原等对立统一关系)的学习,有助于科学世界观的树立和归纳、推理等逻辑思维能力的培养;通过对常用材料、能源、资源的认识,有助于为专业学习和就业以及日常生活奠定必要的基础,树立环境保护和可持续发展的意识;通过对科学家及其贡献的了解,有助于培养求实创新的科学态度以及良好的团队精神;通过化学实验,提高观察、分析能力和实际操作技能。

高职教育是最贴近社会、经济和市场变化的高等教育,其目标是培养直接面向生产、建设、经营、管理和服务第一线的高级技术应用性人才,为配合高职高专教育教学改革工作的需要,在各级教育行政部门、学校和有关出版社的共同努力下,各地已出版了一大批高职高专教材。随着市场对应用型、技能型人才的需求,要求学生“上手快、用得上”,有较强的实践动手能力。各高职高专院校为适应市场需求,培养具有较强的实际操作能力和综合运用知识能力的学生,在“必需够用为度”的基础上,压缩纯基础理论教学学时,加大应用技术理论方面的教学力度,增强实验、实作技能的操作训练,同时也对教材的适应性、针对性提出了更高的要求。因此,我们对现行高职高专《无机化学》、《有机化学》和《分析化学》教材进行有机整合,编写适用于高职高专冶金、环保、化工、轻工等专业的《应用化学》。

由于新教材是对《无机化学》、《有机化学》和《分析化学》教材的有机

整合,为了能有效准确地把握教材的编写内容,我们对全日制初、高中的化学教材进行了分析和研究,考虑了新教材与高中教材的衔接,将相关知识按照逻辑关系进行重组、归纳、整合,以期达到对课程体系和知识结构的优化,突出高职高专教育特色,增强了教材的适应性,突出其针对性。在保证学生稳固掌握基础理论的前提下,尽量避免具有理论相关性的内容在教学过程中出现重复教授的弊端。通过学习,使学生能真正学到有用的、实用的知识,能在相对较短的学时内掌握化学学科的基础理论和实验研究方法,为专业课的学习奠定良好的基础。

教材内容总体上分为两个部分:理论部分和实验部分。实验部分是针对理论部分内容的实验而编写的。两部分独立成册,以便教师和学生使用。

本书主要是理论部分。本书分为十一章,教学学时建议安排如下:

第一章绪论 4~6 课时,第二章化学反应速率和化学平衡 4~6 课时,第三章酸碱平衡与酸碱滴定 12~14 课时,第四章沉淀和溶解(包括重量分析) 6~8 课时,第五章原子结构和元素周期律 6~8 课时,第六章化学键与分子结构 4~6 课时,第七章氧化还原反应及氧化还原滴定法 12~14 课时,第八章配位化合物及配位滴定法 12~14 课时,第九章元素 16~20 课时,第十章有机化合物 18~28 课时,第十一章现代化学进展 4 课时,总计 98~128 课时。

本书由高红武、周清担任主编,杜重麟、张云梅任副主编。具体编写人员为:高红武编写第 1、8 章,周清编写第 9 章,杜重麟编写第 2、4、7 章,张云梅编写第 3、5 章,朱波编写第 10 章,许吉平编写第 6 章,张润虎编写第 11 章。全书由高红武、周清统稿。

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中内容难免存在疏漏和错误,恳请读者批评指正。

编 者

2005 年 7 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 应用化学课程的基本内容和任务	1
第二节 一些化学基本概念和定律	3
第三节 化学计量误差	12
第四节 有效数字及其运算规则	18
复习与思考题	22
第二章 化学反应速率和化学平衡	24
第一节 化学反应速率及其影响因素	24
第二节 化学平衡	32
第三节 化学反应速率和化学平衡的综合利用	44
复习与思考题	45
第三章 酸碱平衡与酸碱滴定	50
第一节 酸和碱的基本概念	50
第二节 酸碱离解平衡	57
第三节 同离子效应和缓冲溶液	66
第四节 盐类的水解	72
第五节 弱酸(碱)溶液中各存在形式的分布	78
第六节 定量分析概述	82
第七节 酸碱滴定法	89
第八节 酸碱滴定法应用示例	100
复习与思考题	108
第四章 沉淀和溶解	111
第一节 沉淀溶解平衡 溶度积	111
第二节 溶度积规则及其应用	114
第三节 沉淀的形成过程	123
第四节 影响沉淀纯度的因素	125

第五节 重量分析法及沉淀滴定法	127
复习与思考题	136

第五章 原子结构和元素周期律	139
第一节 原子的组成	139
第二节 原子核外电子的运动状态	141
第三节 原子中电子的分布	150
第四节 原子核外电子排布与元素周期律	158
第五节 元素性质的周期性	162
复习与思考题	170

IV 第六章 化学键与分子结构	173
第一节 离子键和离子晶体	173
第二节 共价键和原子晶体	179
第三节 杂化轨道理论	187
第四节 金属键和金属晶体	190
第五节 分子间力和氢键	191
复习与思考题	198

第七章 氧化还原反应及氧化还原滴定法	201
第一节 氧化还原反应的基本概念	201
第二节 原电池和电极电位	206
第三节 氧化还原滴定法	220
复习与思考题	241

第八章 配位化合物及配位滴定法	247
第一节 配位化合物的基本概念	247
第二节 配位化合物的结构	250
第三节 配位化合物在水溶液中的状况	255
第四节 配位化合物的应用	260
第五节 配位滴定法	262
复习与思考题	288

第九章 元素	293
第一节 化学元素概论	293
第二节 非金属元素	296

第三节 金属元素.....	314
复习与思考题.....	352
第十章 有机化合物	354
第一节 有机化合物概述.....	354
第二节 脂肪烃和脂环烃.....	358
第三节 芳香烃.....	401
第四节 卤代烃.....	414
第五节 醇、酚和醚.....	425
第六节 醛、酮、醌.....	439
第七节 羧酸及其衍生物.....	448
第八节 含氮化合物.....	456
复习与思考题.....	464
第十一章 现代化学进展	470
第一节 纳米化学.....	470
第二节 绿色化学.....	473
第三节 能源化学.....	478
第四节 生命化学.....	485
附录	493
附录一 弱酸和弱碱的离解常数.....	493
附录二 常用酸碱溶液的相对密度、质量分数与物质的量浓度.....	494
附录三 常用的缓冲溶液.....	496
附录四 常用基准物质的干燥条件和应用.....	497
附录五 国际相对原子质量表(1997年).....	498
附录六 一些化合物的相对分子质量.....	499
附录七 一些氧化还原电对的条件电极电位.....	501
附录八 金属配合物的稳定常数.....	502
附录九 难溶化合物的溶度积常数(18℃).....	504
附录十 标准电极电势(18~25℃).....	506
参考答案(部分习题)	509
参考文献	518

第一章

绪 论

在化工生产、科学实验和化学教学中,经常要运用化学基本概念和基本定律来讨论问题,并进行某些化学计算。本章在中学化学知识的基础上,介绍了化学基本概念、基本定律、单位和单位制、物质的量、摩尔质量、物质的量浓度等知识;在理解理想气体状态方程式、分压定律的基础上进行相关计算;介绍分析误差产生的原因、表示方法及有效数字的意义,运用运算规则进行相关计算,保证分析测定结果的准确度。

第一节 应用化学课程的基本内容和任务

化学是自然科学中的一门重要学科。化学是在分子、原子或离子等层次上研究物质的组成、结构、性质及其变化规律、相变化过程中能量关系的一门科学。简言之,化学是研究物质变化的科学。

化学来源于生产,从最初的制陶、金属冶炼以至纸的发明、火药的使用等,其产生和发展与人类最基本的生产活动紧密联系。

材料科学、能源科学、环境科学和生命科学是关系人类生存和发展的现代科学的四大支柱,它们与化学密不可分且互相促进。如材料科学的发展是社会文明进步的物质基础和显著标志。因为有了耐腐蚀的含氟聚合材料,才解决了原子能工业制取浓缩铀的问题;有了耐高温和耐烧蚀的增强复合材料,才有可能制造人造卫星、洲际导弹和航天飞机。信息工程中采集、储存、处理、传输和执行都需要相应的功能材料,这些都是化学工业提供的。

化学通过了解物质的结构,设计新物质的合成,目前世界上每年增加 100 万种以上的新物质。化学在注意合理利用传统能源的同时,开发新型、清洁的能源,以克服“能源危机”。满足社会发展的需要,改善因消耗能源对环境造成的污染。化学还探索人类生产过程给环境带来的负面影响,寻找既能使社会持续发展又保持良好生态环境的道路。生物化学和分子生物学通过揭示生命与疾病的奥秘,设计、生产新的药物和进行转基因工程,为不断提高人的健康水平,最终战胜癌症、艾滋病、老年痴呆症和心血管等顽疾带来了希望。由此可见,化学涉及到科技、农业、国防和工业生产的机械、电子、冶金、建筑、石油、医药、食品、纺织、造纸、皮革、

橡胶等各个领域。

一、化学变化的基本特征

物质的变化有物理变化和化学变化。化学变化的基本特征为：

(1) 化学变化是“质变”，其实质是化学键的重新改组，即旧的化学键破坏和新的化学键形成过程。因此有关原子结构、分子结构的知识是化学学科的重要基础内容。

(2) 化学变化是“定量”的变化，在化学变化中，参与反应的元素种类不会变化，各元素的原子核和核外电子的总数不变。因此化学变化前后物质的总质量不变，服从质量守恒定律，参与反应的各种物质之间有确定的计量关系。

(3) 化学变化中伴随着能量的变化。化学变化中化学键的改组，伴随着体系与环境之间的能量交换，服从能量守恒定律。

了解并掌握化学变化这三个重要的基本特征，有助于加深对各种化学变化实质的理解，更好地掌握化学的基本理论和基本知识。

二、应用化学课程的基本内容和任务

化学课程是高等工业学校化工、轻工、应用化学、生物工程、食品、环境等类有关专业及农林医院校相近专业的必修基础课程，是培养上述专业工程技术人才的整体知识结构及能力结构的重要组成部分，同时也是后继化学课程的基础。

应用化学课程是立足于新的一门课程体系基础，对原来无机化学、分析化学及基础有机化学课程的基本理论、基本知识进行优化组合、整合而成的一门课程。

应用化学课程的基本内容为：

(1) 近代物质结构理论。研究原子结构、分子结构和晶体结构，了解物质的性质、化学变化与物质结构之间的关系。

(2) 化学平衡理论。研究化学平衡原理以及平衡移动的一般规律，讨论酸碱平衡、沉淀溶解平衡、氧化还原平衡和配位平衡。

(3) 物质组成的化学分析法及有关理论。应用平衡原理和物质的化学性质，确定物质的化学成分、测定各组分的含量，即四种平衡在定量分析中的应用，掌握一些基本的分析方法。

(4) 元素化学。在元素周期律的基础上，研究重要元素及其化合物的结构、组成、性质的变化规律，了解常见元素及其化合物在各有关领域中的应用。

(5) 有机化合物。在原子结构的基础上，讲解脂肪烃、脂环烃和芳香烃及其衍生物化合物的结构、命名及基本性质，认识有机化合物与典型无机化合物明显不同的特性。

因此，应用化学课程的基本内容可用“结构”“平衡”“性质”“应用”八个字来描述。学习应用化学课程就是要理解并掌握物质结构的基础理论、化学反应的基本

原理及其具体应用、元素化学的基本知识、培养运用理论去解决一般问题的能力。

人类的社会实践，不仅限于生产活动一种形式，对化学发展来说，科学实验有着特殊重要的意义。化学是一门以实验为基础的科学，化学实验始终是认识物质、改变物质的重要手段。因此应用化学实验十分重要，在学习基本知识、基本理论的同时，必须重视实验，进行严格的、科学的实验操作训练，掌握实验基本技能、培养良好的科学素养。

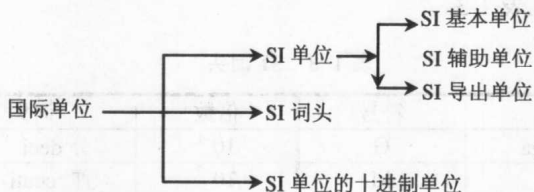
几乎任何科学研究，都要涉及到化学现象与化学变化。应用化学的基本理论、基本知识以及基本实验技能，都被运用到研究工作中。如化工新产品的开发研究、工艺参数的确定、食品新资源的开发、食品中的各种营养成分与有害元素的研究与测试、控制以及环境保护和环境监测、“三废”的监测治理及综合利用等都需要牢固扎实的化学基础。

第二节 一些化学基本概念和定律

一、单位及单位制

化学工作中常常会遇到一些物理量的计算，例如质量、体积、长度、温度、压力、时间、物质的量、浓度等。这些物理量中，有些是基本物理量，如质量、时间等，有些属于导出物理量，如体积、压力等。根据国家法律规定，这些物理量的单位必须采用国际单位制。国际单位制是 1960 年第 11 届国际计量大会建议并通过的一种单位制。以米、千克、秒公制为基础，逐步加上其他单位，作了一些规定，制订了国际单位制，把现行的各单位和单位制加以选择调整，按一定原则统一到同一单位制中。如把各种能量单位均统一为焦[耳] (J)，压力单位统一为帕[斯卡] (Pa)。国际单位制克服了由历史原因造成的多种单位制并用的混乱现象，反映了当代的科学技术水平，具有科学、精确、简明和实用的特点。

国际单位制 (International System of Units, 简称 SI) 包括三个部分，其构成如下：



SI 基本单位及部分导出单位见表 1-1。

表 1-1 SI 基本单位及部分导出单位

基本单位				导出单位			
量	量的符号	单位名称	单位符号	量	量的符号	单位名称	单位符号
长度	L (L)	米	m	体积 ⁽³⁾	V	立方米	m^3
质量	m	千克 (公斤) ⁽¹⁾	kg	力	F	牛[顿]	N
时间	t	秒	s	压力	P	帕[斯卡]	Pa
热力学温度	T	开[尔文] ⁽²⁾	K	能量	E	焦[耳]	J
物质的量	N	摩[尔]	mol	电荷	Q	库[仑]	C
电流	i	安[培]	A	电位	U	伏[特]	V
发光强度	$I_v(I_v)$	坎[德拉]	cd				

注：(1) 圆括号中的名称，是它前面的名称的同义词。

(2) 方括号中的字，在不引起混淆、误解的情况下，可省略，下同。

(3) 根据国家选定的非国际单位制单位，体积的单位可以采用“升”，单位符号“L”或“l”。

除表中列出的导出单位外，化学中常用的量及其单位见表 1-2。

表 1-2 化学中常用的其他量及其单位

量	量的符号	单位名称	单位符号	量	量的符号	单位名称	单位符号
面积	A (或 S)	平方米	m^2	相对密度	D	—	1
元素的相对原子质量	A_r	—	1	物质 B 的质量分数	ω_B	—	1
物质的相对分子质量	M_r	—	1	物质 B 的摩尔分数	X_B	—	1
摩尔质量	M	千克每摩	kg/mol	物质 B 的摩尔浓度	C_B	摩每立方米	mol/m ³
摩尔体积	V_m	立方米每摩	m ³ /mol	物质 B 的质量摩尔浓度	b_B, m_B	摩每千克	mol/kg
物质 B 的相对活性	a_m, a_B	—	1	功	W	焦[耳]	J
物质 B 的活度系数	γ_B	—	1	热	q	焦[耳]	J
密度	ρ	千克每立方米	kg/m ³	频率	γ	赫[兹]	Hz
物质 B 的质量浓度	ρ_B	千克每升	kg/L	摄氏温度	t	摄氏度	℃

注：单位为 1 的量，往往称为无量纲量。

使用 SI 单位所表示的物理量太大或太小时，可在单位符号前加上词头，使物理量变成适中的数值。一般选用国际单位制的倍数单位或分数单位时，应使数值处在 0.1~1 000。SI 词头见表 1-3。

表 1-3 SI 词头

倍数	词头	符号	倍数	词头	符号
10^9	吉[咖] giga	G	10^{-1}	分 deci	d
10^6	兆 mega	M	10^{-2}	厘 centi	c
10^3	千 kilo	k	10^{-3}	毫 milli	m
10^2	百 hecto	h	10^{-6}	微 micor	μ
10^1	十 deca	da	10^{-9}	纳[诺] nano	n

注：方括号中的字，在不引起混淆、误解的情况下，可省略，下同。

二、物质组成的量度

1. 物质的量

物质的量是计量指定的微观基本单元，1971年10月第十四届国际计量大会正式通过有关“物质的量”的单位摩尔，符号为 mol。其定义为：①摩尔是一系统的物质的量，单位摩尔物质所包含的基本单元数与 $0.012\text{ kg }^{12}\text{C}$ 的原子数目相等；②在使用摩尔时，基本单元可以是原子、分子、离子、电子及其他粒子，或是这些粒子的特定组合。

物质的量是度量物质微粒数量大小的一个物理量。根据定义，只要指定微粒（如原子、分子、离子、电子等）的数目与 $0.012\text{ kg }^{12}\text{C}$ 所含碳原子的数目相等，这种微粒的物质的量就等于 1 mol。实验测定，一个 ^{12}C 原子的质量是 $1.9927 \times 10^{-26}\text{ kg}$ ， $0.012\text{ kg }^{12}\text{C}$ 所含 ^{12}C 原子数目与阿佛加德罗常数相等 ($N_A = 6.022 \times 10^{23}$)。也就是说，1 mol 任何物质包含的基本单元数约为 6.022×10^{23} 。如果某物质系统中含某种微粒的数目为 N_A ，则该微粒的物质的量即为 1 mol；如果该微粒的数目为 N_A 的 n 倍，则该微粒的物质的量就是 $n\text{ mol}$ 。

“摩尔”的概念与“打”相似。一“打”用来表示十二件（或个、只等）指定的物品，说明物品数量的多少。“打”表示宏观物品数量的多少，而“摩尔”表示物质微粒数量的多少。

定义的第二条规定，使用“摩尔”这个单位时，必须同时用化学式表明具体的基本单元。例如：1 mol ^{12}C ，表示含有 N_A 个 ^{12}C 原子；1 mol H，表示含有 N_A 个 H 原子；1 mol H^+ ，表示含有 N_A 个 H^+ 离子；1 mol H_2SO_4 ，表示含有 N_A 个 H_2SO_4 分子、2 倍 N_A 个 H 原子、4 倍 N_A 个 O 原子。也就是说，1 mol H_2SO_4 系统中，含有 H_2SO_4 分子的数量为 1 mol，H 原子或 H^+ 离子的数量为 2 mol，O 原子数量为 4 mol。所指定物质的基本单元为 H_2SO_4 、H、 H^+ 、O 时，各物质的量不相等。

2. 摩尔质量

1 mol 物质的质量称为摩尔质量，用 M 表示。某物质 i 的质量 m_i 除以其物质的量 n_i ，即为该物质的摩尔质量。用数学式表示为：

$$M_i = \frac{m_i}{n_i} \quad (1-1)$$

摩尔质量的国际单位制单位名称为千克每摩尔，符号为 $\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ ，习惯上常用 $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

任何元素原子、分子或离子的摩尔质量，当单位为 $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 时，数值上等于其相对原子质量、相对分子质量或相对离子质量。例如：O 的摩尔质量为 $16.00 \times 10^{-3}\text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ （或 $16.00\text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ）； H_2SO_4 的摩尔质量为 $98.09 \times 10^{-3}\text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ （或 $98.09\text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ）等。

3. 物质的量浓度

在均匀的混合物中, 某物质 i 的物质的量 (n_i) 除以混合物的体积 (V), 称为物质的量浓度, 即单位体积内该物质所含物质的量, 常用 c_i 表示:

$$c_i = \frac{n_i}{V} \quad (1-2)$$

物质的量浓度的国际制单位名称为: 摩尔每立方米, 符号为 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ 。习惯上用摩尔每升, 符号为 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

由式 (1-2) 得出溶液中溶质的物质的量为:

$$n_i = c_i V \quad (1-3)$$

由式 (1-1) 得出溶质的质量为:

$$m_i = n_i M_i \quad (1-4)$$

将式 (1-3) 代入式 (1-4) 得出溶质的质量为:

$$m_i = n_i M_i = c_i V M_i \quad (1-5)$$

在各种资料中, 经常用到质量摩尔浓度, 其定义为: 在溶液中溶质 i 的物质的量除以其溶液的质量 m , 即为该物质的质量摩尔浓度, 常用 b_i 表示:

$$b_i = \frac{n_i}{m} \quad (1-6)$$

质量摩尔浓度的单位为摩尔每千克, 符号是 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

【例 1-1】 将 40 g NaOH 溶于少量水, 然后稀释至 1 L, 求所得 NaOH 溶液物质的量浓度。

解: NaOH 的相对分子质量为 40, 摩尔质量为 $40 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, 根据摩尔质量的定义:

$$n_i = \frac{m_i}{M_i}$$

$$n(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{NaOH})}{M(\text{NaOH})} = \frac{40 \text{ g}}{40 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 1 \text{ mol}$$

$$c(\text{NaOH}) = \frac{n(\text{NaOH})}{V} = \frac{1 \text{ mol}}{1 \text{ L}} = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

答: 所得 NaOH 溶液物质的量浓度是 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

4. 物质的量分数

在混合物中, 某物质 i 的物质的量 (n_i) 与混合物中总的物质的量 (n) 之比, 称为物质 i 的物质的量分数或物质 i 的摩尔分数, 常用 x_i 表示:

$$x_i = \frac{n_i}{n} \quad (1-7)$$

x_i 是一个无量纲的常数。例如：在 N_2 、 H_2 、 NH_3 的混合气体的平衡系统中，含有 4.0 mol 的 N_2 ，15.0 mol 的 H_2 ，1.0 mol 的 NH_3 ，则它们的物质的量分数分别是：

$$x_{(N_2)} = \frac{4.0 \text{ mol}}{(4.0 + 15.0 + 1.0) \text{ mol}} = 0.2$$

$$x_{(H_2)} = \frac{15.0 \text{ mol}}{(4.0 + 15.0 + 1.0) \text{ mol}} = 0.75$$

$$x_{(NH_3)} = \frac{1.0 \text{ mol}}{(4.0 + 15.0 + 1.0) \text{ mol}} = 0.05$$

5. 摩尔体积

摩尔体积的概念多用于气体物质。定义为某物质 i 的体积 V_i 除以该物质所含物质的量 n_i ，常用 V_m 表示：

$$V_m = \frac{V_i}{n_i} \quad (1-8)$$

V_m 的国际单位制名称为立方米每摩尔，单位符号为 $m^3 \cdot mol^{-1}$ 。

在标准状况 (273.15 K 及 100 kPa) 下，理想气体的摩尔体积为 $2.24 \times 10^{-2} m^3 \cdot mol^{-1}$ (即 $22.4 L \cdot mol^{-1}$)。

6. 物质的质量分数

物质的质量分数是指物质 i 的质量与混合物质量之比，常以符号 ω_i 表示，即：

$$\omega_i = \frac{m_i}{m} \quad (1-9)$$

式中，物质的质量分数，无量纲，一般采用数学符号 % 表述。该表示方法就是在物质组成测定中应用较多的百分含量表示法。

7. 物质的质量浓度

物质的质量浓度是指单位体积溶液所含溶质 i 的质量，常以符号 ρ_i 表示：

$$\rho_i = \frac{m_i}{V} \quad (1-10)$$

式中， V ——溶液的体积。质量浓度的单位为 $kg \cdot L^{-1}$ ，也可采用 $g \cdot L^{-1}$ 。

8. 滴定度

滴定度指每毫升滴定剂溶液相当于待测物质的质量 (单位为 g)，用 $T_{\text{待测物/滴定剂}}$ 表示，单位为 $g \cdot ml^{-1}$ 。

$$T_{\text{待测物/滴定剂}} = \frac{m_{\text{待测物}}}{V_{\text{滴定剂}}} \quad (1-11)$$

【例 1-2】 滴定含有 0.1645 g $H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$ 的溶液时，用去 24.12 ml $KMnO_4$

标准滴定溶液, 求该 KMnO_4 标准滴定溶液对 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 的滴定度。

解:

$$T(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}/\text{KMnO}_4) = \frac{m(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})}{V(\text{KMnO}_4)} = \frac{0.1645}{24.12} = 0.006820 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$$

答: 该 KMnO_4 标准滴定溶液对 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 的滴定度是 $0.006820 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$

在生产实际中, 对大批试样进行组分的例行分析, 用 T 表示很方便, 如滴定消耗 $V(\text{ml})$ 标准滴定溶液, 则被测物质的质量为 $m = TV$ 。例如: $T(\text{Fe}/\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 0.003489 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$, 表示每毫升 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 标准滴定溶液相当于 0.003489 g Fe 。

9. 几种溶液浓度之间的关系

(1) 物质的量浓度与质量分数。

如已知溶液的密度为 ρ , 溶液中溶质 B 的质量分数 ω_B , 则该溶液的浓度可表示为:

$$c_B = \frac{n_B}{V} = \frac{m_B}{M_B V} = \frac{m_B}{M_B m / \rho} = \frac{\rho m_B}{M_B m} = \frac{\omega_B \rho}{M_B} \quad (1-12)$$

式中, V ——溶液的体积;

M_B ——溶质 B 的摩尔质量。

【例 1-3】 已知浓盐酸的密度为 $1.19 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$, 其中 HCl 质量分数为 36%, 求该盐酸每升中所含有的 $n(\text{HCl})$ 及其浓度 $c(\text{HCl})$ 各为多少?

解: 根据式 (1-1) 有:

$$\begin{aligned} n(\text{HCl}) &= \frac{m(\text{HCl})}{M(\text{HCl})} \\ &= \frac{1.19 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1} \times 1000 \text{ ml} \times 0.36}{36.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} \approx 12 \text{ mol} \\ c(\text{HCl}) &= \frac{n(\text{HCl})}{M(\text{HCl})} = \frac{12 \text{ mol}}{1.0 \text{ L}} = 12 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \end{aligned}$$

答: 该盐酸每升中含 HCl 的摩尔数为 12 mol , 其物质的量浓度 $c(\text{HCl})$ 为 $12 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

以上是市售浓盐酸的物质的量浓度的计算实例。同理可计算得到市售浓硫酸、浓硝酸的物质的量浓度各为 $18 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $15 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

(2) 物质的量浓度与质量摩尔浓度。

已知溶液的密度 ρ 和溶液的质量 m , 则有:

$$c_i = \frac{n_i}{V} = \frac{n_i}{m / \rho} = \frac{n_i \rho}{m} \quad (1-13)$$

若该系统是一个两组分系统, 且 i 组分的含量较少, 则 m 近似等于溶剂的质量 m_j , 上式可近似成为:

$$c_i = \frac{n_i \rho}{m} \approx \frac{n_i \rho}{m_j} = b_i \rho \quad (1-14)$$

若该溶液是稀的水溶液, 则:

$$c_i \approx b_i \quad (1-15)$$

三、理想气体定律

物质总是以一定的聚集状态存在。常温常压下, 物质有气态、液态和固态三种存在形态, 在一定条件下这三种状态可以相互转变。此外, 还发现物质有第四种状态, 即等离子体的形态。

气体的基本特征是其具有扩散性和压缩性。将气体引入任何容器中, 其分子立即向各方扩散, 如在室内一角放上少量溴, 很快在该室的另一角闻到溴的气味。气体分子彼此相距较远, 分子间的引力非常小, 分子之间空隙大, 各个分子都处在无规则地快速运动中, 因此气体具有较大压缩性, 不同的气体可以任何比例混合成均匀混合气体。气体的存在状态主要决定于四个因素, 即: 温度、压力、物质的量和体积, 它们之间有如下的关系。

1. 理想气体状态方程式

对于理想气体, 其温度、压力、物质的量和体积之间满足以下关系:

$$pV = nRT \quad (1-16)$$

式中, p ——气体压力, Pa;

V ——气体体积, m^3 ;

n ——气体物质的量, mol;

T ——气体的绝对温度, K;

R ——摩尔气体常数, 又称气体常数, $R = 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 。

该表达式称理想气体状态方程。

理想气体是一种假想的气体模型, 要求气体的分子间完全没有作用力, 气体分子本身只是一个一个几何点, 不占体积。

真实气体只有在较高温度和较低压力的情况下, 才接近理想气体, 即气体分子间的距离很大, 气体所占体积远远超过气体分子本身的体积, 分子间作用力和分子本身体积均可忽略不计。那么, 真实气体的相关数据代入理想气体状态方程计算, 其结果才不会引起显著的误差。

气体常数 R 的值可由实验测得。如在 273.15 K、100 kPa 的条件下, 测得 1.000 mol 气体所占的体积为 $22.414 \times 10^{-3} \text{ m}^3$, 代入式 (1-16) 则得:

$$\begin{aligned} R &= \frac{pV}{nT} = \frac{101.325 \times 10^3 \text{ Pa} \times 22.414 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{1.000 \text{ mol} \times 273.15 \text{ K}} \\ &= 8.314 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \\ &= 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \end{aligned}$$

【例 1-4】当温度为 360 K, 压力为 $9.6 \times 10^4 \text{ Pa}$ 时, 0.400 L 的丙酮蒸气重 0.744 g。