

编写说明

近年来我国经济快速发展,急需大量的高技能专业人才。为了鼓励高技能专业人才的培养,国务院出台了《国务院关于大力发展职业教育的决定》。在政府与市场的共同推动下,高职高专层次药学专业的发展也十分迅速。现在全国已有药学类专业高职高专层次办学单位 79 个,比三年前有了大幅度的提高。职业药师的执业资格准入制度,药品生产水平的提高,医药销售企业的规范管理与策划营销,都对药学专业高职高专学生的培养提出了更高的要求。而目前市场上已有的药学类高职高专教材存在理论性过强、缺乏系统实训教材等缺憾,所以,出版一套知识新、突出职业教育特色、体现教学改革成果的教材,对推动药学专业教学改革、培养优秀实用型人才具有重要意义。

据此,河南科学技术出版社通过深入调研,认真组织全国多所开办药学专业时间较长且教改经验丰富的高职高专院校的专家,邀请药品研发和生产部门的技术人员、从事药品销售的专业人员,共同编写本套药学类高职高专系列教材。本套教材本着理论“必需、够用”为度、注重药学专业知识的有效整合、突出实践能力培训的原则进行编写,力争使其成为我国医药高职高专院校教材建设的一大亮点,并争取达到以下目标:

第一,围绕育人目标,领悟文件精神,夯实理论基础。

本套教材的编者深入学习教育部、卫生部有关药学人才的培育要求以及院校的教学文件,以国家文件精神为指导编写本套教材,保证概念正确、知识清楚、内容必需,力求语言简明、突出实用,既有利于教师更新观念、改进教法、有效主导、提高成效,又可引导学生汲取新知、增强技能、优化素质、健康成长,从而成为一套深受广大师生欢迎的实用教材。

第二,育人定位准确,课程设置合理,强化技能培训。

本套教材的编者遵循高职高专药学教育教学规律,始终围绕高技能应用型药学人才的培育目标,坚持理论“必需、够用”的同时,有效整合药学专业知识,对课程体系进行了有效融合。另外,为了加强与理论知识相配套的实践能力培训,编写了 6 种实验实训课教材,增加了有关药学设计性(由学生设计目标、内容和要求的实验实训)和综合性(学生运用本学科及相关学科综合知识进行实验实训)的实践教学内容,并按教学计划精心设计,营造高仿真药学职业环境,有的放矢地引导学生“零距离”接受药学职业岗位有关生产流程的实训,尽早具有“零适应期”就业本领,增强学生就业竞争力,从而使本套教材更具创新性和实用性。

在本套教材的编写过程中,各位编者多次开会研讨,共商编写事宜,反复协商,达成共识,进而明确了本套教材的体系规划、设计思路、编写理念、应有特色和预定目标,力争使本套教材做到起点高、立意新、注重实践、突出质量。但由于时间仓促,经验有限,并做了许多新的尝试,不足之处在所难免,恳请各位专家、同仁批评指正。

李晓阳

2007 年 6 月

前 言

本书为医学类高职高专药学专业的基础课程教材。教材的编写遵循 21 世纪医学教育改革的发展，与人才培养相适应。根据药学专业培养目标、课改精神和“思想性、科学性、先进性、启发性和适应性”的要求，采用法定计量单位，遵守国际标准，选用国际通用数据，规范名词术语。教材力求内容适当、条理清楚、语言简洁、循序渐进。

（一）突出药学专业教育特点。以药典中常见药物原料及药物为核心，用医药中常见化合物及药物为实例，介绍无机化学和有机化学中的基本知识与基本理论。同时强调化学与药学，化学与专业的联系，为学习分析化学、生物化学、药物化学、天然药物化学等后续课程打下坚实的基础。

（二）体现高职高专教育特点。高职高专教育以“需用为准、够用为度、实用为先”，实现教育与岗位的“零距离”接口。在物质结构部分略去了薛定谔方程、分子轨道理论等；在酸碱理论、平衡理论、氧化还原理论及有机反应历程等各章节亦回避了艰深和不成熟的学说以及复杂的计算。另一方面，对选定的内容，在保证科学性的原则下，叙述力求简洁明晰并配以较多的插图以助理解。对与医药学应用联系密切的新知识，用知识的链接形式给出，以开阔学生视野。

（三）实验内容单列。为体现高职高专的课改精神，构建新的实践环节体系，加强技能训练，把《基础化学实验技能》一书作为本教材的配套教材。

（四）方便自学、把握重点。每章开头有学习要点，最后附有思考题，以利于学生掌握所学内容的重点和难点，提高分析问题和解决问题的能力。

本书在编写过程中得到各位编者所在院校的大力支持，在此致以衷心的感谢，并对本书所引用的文献资料的原作者深表谢意。

由于编者学术水平有限，编写时间仓促，有不妥及错误之处，敬请大家批评指正。

编 者

2007 年 4 月

目 录

绪论	1
第一章 化学基础知识与计算	3
第一节 物质的量	3
一、物质的量的定义	3
二、物质的量的单位	4
三、摩尔质量及其有关计算	4
第二节 气体摩尔体积	6
一、气体的计量	6
二、气体摩尔体积的定义	7
三、气体摩尔体积的计算	8
第三节 溶液的组成量度	8
一、溶液浓度的表示方法	8
二、溶液浓度的换算	12
三、溶液的配制和稀释	13
第二章 物质结构基础	16
第一节 原子结构	16
一、原子的组成和同位素	16
二、原子核外电子的运动状态	18
三、原子核外电子的排布	23
第二节 元素周期律	29
一、元素性质的周期性变化	30
二、元素周期表及其应用	32
第三节 分子结构	37
一、离子键	37
二、共价键	38
三、分子间的作用力	44
第三章 化学反应速率与化学平衡	51
第一节 化学反应速率	51
一、化学反应速率的概念和表示方法	51
二、化学反应速率理论简介	53
第二节 影响化学反应速率的因素	56
一、浓度对反应速率的影响	56
二、温度对反应速率的影响	58
三、催化剂对反应速率的影响	58
第三节 化学平衡	61
一、可逆反应与化学平衡	61
二、化学平衡常数	62
三、平衡常数与平衡转化率	65
第四节 化学平衡的移动	67
一、浓度对化学平衡的影响	67
二、压力对化学平衡的影响	69
三、温度对化学平衡的影响	70
四、催化剂与化学平衡的关系	70
五、平衡移动原理——吕·查德里原理	70
第四章 水化学	73
第一节 稀溶液的依数性	73
一、溶液的蒸气压下降	73
二、溶液的沸点上升	75
三、溶液的凝固点下降	76
四、溶液的渗透压力	77
第二节 酸碱平衡	81
一、电解质及其解离	81



二、酸碱的概念	83	第五节 电势法测定溶液的 pH 值	130
三、水的解离和溶液的 pH 值	86	一、参比电极和指示电极 ...	130
四、盐的水解及其应用	89	二、电势法测定溶液 pH 值的方法	131
五、缓冲溶液和 pH 值的控制	91	第六章 胶体分散系统与粗分散系统	133
第三节 沉淀溶解平衡	98	第一节 分散系分类及其胶体的基本特性	133
一、溶度积	99	一、分散系的分类	134
二、溶度积规则及其应用	101	二、胶体分散系分类	134
三、溶度积规则在医学上的运用	104	三、胶体的基本特性	134
第四节 配位平衡	104	第二节 胶体的制备与净化	135
一、配位化合物	104	一、溶胶的制备方法	135
二、配位化合物的性质和稳定常数	108	二、胶体的净化	136
三、配位平衡的移动	110	第三节 溶胶的基本性质	137
四、配合物在医学上的应用	111	一、溶胶的光学性质	137
第五章 氧化还原反应与电极电势	115	二、溶胶的动力性质	138
第一节 氧化还原反应	115	三、溶胶的电学性质	139
一、氧化还原反应概述	115	第四节 胶团的结构及溶胶的稳定与聚沉	139
二、氧化还原反应方程式的配平	118	一、胶团的结构	139
第二节 原电池	121	二、溶胶的稳定	140
一、原电池的组成	121	三、溶胶的聚沉	141
二、原电池表示式	122	第五节 高分子溶液的形成与性质	142
三、原电池的电动势	122	一、高分子化合物的结构特点及其柔顺性	142
第三节 电极电势	123	二、高分子溶液的特性	143
一、电极电势的产生	123	第六节 凝胶	144
二、标准电极电势	123	一、凝胶的形成	144
三、影响电极电势的因素	126	二、凝胶结构	145
第四节 电极电势的应用	127	三、凝胶的性质	145
一、比较氧化剂和还原剂的相对强弱	127	第七节 粗分散系统	146
二、判断氧化还原反应进行的方向	128	一、乳状液	146
三、判断氧化还原反应进行的程度	129	二、泡沫	147
		第七章 元素化学	149
		第一节 单质的性质	149



一、单质的物理性质	149	与命名	188
二、单质的化学性质	153	三、烯烃和炔烃的物理性质 ...	189
第二节 重要无机化合物的性质	157	四、烯烃和炔烃的化学性质 ...	190
第三节 生命体中的化学元素 ...	159	五、二烯烃	193
一、生命必需元素	159	六、重要的不饱和链烃	196
二、有害元素	160	第三节 环烃	197
第四节 常见离子鉴别	162	一、脂环烃	197
一、离子鉴别反应的特点和条件	162	二、芳香烃	201
二、常见无机离子的鉴别	163	第十章 烃的含氧衍生物	212
第八章 有机化合物概述	166	第一节 醇、酚、醚	212
第一节 有机化合物的概念	166	一、醇	212
一、有机化合物和有机化学 ...	166	二、酚	220
二、有机化合物的特性	167	三、醚	226
第二节 有机化合物的结构	168	第二节 醛、酮、醌	228
一、碳原子的结构	168	一、醛和酮	228
二、有机化合物结构的表示方法	171	二、醌	239
第三节 有机化合物的分类和反应类型	171	第三节 有机酸和酯	242
一、有机化合物的分类	171	一、羧酸	242
二、有机反应的类型	173	二、取代羧酸	248
第四节 有机化合物的结构测定	175	三、酯	252
第九章 烃	177	第十一章 立体异构	256
第一节 烷烃	177	第一节 顺反异构	257
一、烷烃的结构	177	一、链状化合物的顺反异构 ...	257
二、烷烃的同系物和异构现象	178	二、碳环化合物的顺反异构 ...	258
三、烷烃的命名	179	三、顺反异构体的性质	259
四、烷烃的物理性质	181	第二节 旋光异构	260
五、烷烃的化学性质	181	一、偏振光和旋光性	260
六、重要的烷烃	183	二、旋光度和比旋光度	260
七、卤代烷	183	三、旋光性与物质结构的关系	262
第二节 烯烃和炔烃	186	四、旋光异构体的表示方法和命名	263
一、烯烃和炔烃的结构	186	五、旋光异构体的类型和数目	266
二、烯烃和炔烃的同分异构		六、旋光异构体在医药上的应用	268
		第三节 构象异构	268
		一、乙烷的构象	268



二、丁烷的构象	270	二、氨基酸的性质	310
三、环己烷的构象	271	第二节 蛋白质	312
第十二章 有机含氮化合物	274	一、蛋白质的组成和分类	312
第一节 硝基化合物	274	二、蛋白质的结构	313
一、硝基化合物的结构和命名	274	三、蛋白质的性质	315
二、硝基化合物的性质	275	第三节 糖类	317
第二节 胺	276	一、单糖	318
一、胺的结构、分类和命名	276	二、二糖	325
二、胺的性质	278	三、多糖	326
第三节 重氮化合物和偶氮化合物	285	第四节 脂类	329
一、重氮化合物	285	一、油脂的组成、结构和命名	330
二、偶氮化合物	286	二、油脂的性质	331
第四节 酰胺	287	三、磷脂	332
一、酰胺概述	287	第五节 高分子化合物简介	334
二、碳酸衍生物	289	一、高分子化合物的概念	334
三、磺胺类药物	291	二、高分子化合物的结构和性质	334
第十三章 杂环化合物和生物碱	294	三、医用高分子化合物简介	335
第一节 杂环化合物	294	四、高分子药物简介	336
一、杂环化合物的分类和命名	294	第十五章 萜类和甾族化合物	338
二、五元杂环化合物——吡咯、 呋喃和噻吩	297	第一节 萜类化合物	338
三、六元杂环化合物——吡啶	298	一、萜类化合物的结构	338
四、重要的杂环化合物	299	二、萜的分类、命名	339
第二节 生物碱	302	三、重要的萜类化合物	339
一、生物碱的一般性质	302	第二节 甾族化合物	343
二、重要的生物碱	302	一、甾族化合物的基本结构	343
第十四章 生命物质	307	二、甾族化合物的分类和命名	344
第一节 氨基酸	307	三、重要的甾族化合物	344
一、氨基酸的结构、分类和命名	307	附录	349

绪 论

化学是一门在原子、分子层次上研究物质的组成、结构、性质及其变化规律的科学。作为一门认识自然和改造自然的基本学科，化学的发展十分迅速。现代物理学、数学、生物学、计算机科学等学科的发展，为化学的发展创造了大量的条件和机遇，化学与其他学科的联系日益密切，这种学科的交叉与渗透使化学为农业、生物学、环境科学、医学、计算机科学、工程学、地质学、物理学、冶金学等众多领域做出了重大贡献。因此，人们把化学称为“21 世纪的中心科学”。

一、化学与药学的关系

药物是用于治疗、预防和诊断疾病所用化学物质的总称，目前使用的药物按来源可分为三大类：一是天然来源的植物药、矿物药及来源于动物组织的药物；二是微生物来源的药物，如抗生素等；三是化学合成的药物，即所谓的西药。很多来自天然及微生物的药物，现在也可用化学合成的方法制得。尽管有些药物的有效成分还不清楚或化学结构尚未阐明，但无论如何它们均属于化学物质，所以说“药物是特殊的化学品”。

化学与药学密不可分。早在 16 世纪，欧洲化学家就提出化学要为医治疾病而制造药物。1800 年，英国化学家戴维（Davy H）发现了一氧化二氮的麻醉作用，后来更加有效的乙醚也被发现，使无痛外科手术和牙科手术成为可能。1932 年，德国科学家 KG Domag 找到一种偶氮磺胺染料 Prontosil，使一位患细菌性血中毒的孩子得以康复。在此启发下，化学家制备了许多新型的磺胺药物，并开创了今天的抗生素领域。

现代化学尤其是有机化学的发展，为药物的研究开辟了一个崭新的天地。依靠有机化学理论和实验方法可以研究药物的组成、结构，从本质上认识药物，因而使药物可以在实验室里合成，进而在现代化的工厂内生产。如今 95% 的药品都来自化学合成，可以毫不夸张地说，没有化学的发展就没有新药物的开发，也就没有现代医学的飞跃。化学也是药学专业的必修基础课程，它不仅要求学生全面掌握化学的基础知识，更要求学生掌握化学的研究方法、基础实验知识和基本实验技能。

二、基础化学的内容及作用

美国化学家 Breslow R 指出：“考虑到化学在了解生命中的重要性和药物化学对健



康的重要性,在医药人员的正规教育中包括不少化学课程就不足为奇了。”在高等药学教育中,不论国内还是国外,历来都将化学作为重要的基础课。基础化学是药学专业一年级的第一门化学课,其内容是根据药学专业的特点选定的,它主要包括水溶液的性质、有关理论和应用;化学反应的规律性及其应用;物质结构与性质的关系;常见元素及化合物的性质及检测;有机化合物的定义、特点、结构及反应理论;有机化合物的分类、结构、命名、性质和制备;重要有机化合物及用途等。基础化学的任务不仅是给一年级学生提供与药学相关的现代化学的基本概念、基本原理及其应用的基础知识,使学生在上述领域打下较广泛和较深入的基础,并且要通过实验课的训练,使学生掌握基本实验技能、培养其动手能力。学习基础化学的目的,一方面是有利于学生学习后续课程,如分析化学、生物化学、药物化学、药剂学、生理学等;另一方面是帮助学生提高独立思考的能力,为学生将来从事专业工作提供更多的思路和方法,启发学生的创新精神。

三、怎样学好基础化学

大学课程的安排较中学课程有很大差异,学习方法与中学也不尽相同。一年级学生应尽快适应大学的课程内容和教学规律,掌握学习的主动权。在掌握各科课程的基础知识和基本技能的同时,养成高效率的学习方法,培养较强的自学能力,提高发现问题、分析问题和解决问题的能力。

首先,上课专心听讲,积极思考,弄清基本概念,弄懂基本原理,注意老师提出问题、分析问题和解决问题的思路和方法,做适当的笔记;课下认真阅读教材,加深理解,对大量的新知识及时消化吸收,不要试图一听就懂、一看就会。其次,注意对比归纳,学会总结、处理好理解和记忆的关系,即在理解的基础上,记忆一些基本概念和基本原理的重点和重要公式,努力做到熟练掌握、灵活运用、融会贯通。再次,提倡自主学习,培养自学能力,为终身学习奠定扎实的基础。

第一章 化学基础知识与计算

学习要点

掌握物质的量、摩尔等基本概念，能熟练进行物质的量、质量和摩尔质量之间的计算；熟悉气体摩尔体积的概念，能理解气体摩尔体积的限制条件；掌握溶液浓度的几种不同的表示方法，能进行相关的计算。

化学是一门在原子、分子层次上研究物质的组成、结构、性质及其变化规律的科学,而物质的量、摩尔、气体摩尔体积、溶液的浓度等基础知识,以及溶液浓度的计算和溶液配制等技能是学习基础化学和其他课程的基础。

第一节 物质的量

物质是由分子、原子、离子、电子等微粒构成的，对这些极其微小的粒子，按个数计算既困难，又没有实际意义。在化学反应中，参加反应的分子、原子或离子虽然是按一定个数进行，但在生产实践中，这些物质往往用质量来计算。为了化学计算上的方便，建立物质的粒子数与其质量之间的关系，就需要引入一个新的物理量，科学上把这个新的物理量称为“物质的量”。

一、物质的量的定义

“物质的量”与我们熟悉的长度、质量和时间等物理量一样，是国际单位制（SI）的7个基本物理量之一。物质的量是表示以一定数目基本粒子为集体的、与基本单元的粒子数成正比的物理量，符号为 n 。书写物质的量 n 时，应在 n 的右下角或用括号的形式标明微粒的基本单元。例如：

氢原子的物质的量记为 n_{H} 或 $n(\text{H})$;

氧分子的物质的量记为 n_{O_2} 或 $n(\text{O}_2)$;



氢氧化钠的物质的量记为 n_{NaOH} 或 $n(\text{NaOH})$;

微粒 B 的物质的量记为 n_{B} 或 $n(\text{B})$ 。

“物质的量”是联系微观粒子和宏观物质的桥梁，实际上是表示含有一定数目粒子的集体。这个集体的组成者是粒子，这种集体可大可小，也就是集体内的粒子数目有多有少。因此，物质的量是专门计量微观粒子数目多少的物理量。对于“物质的量”不能把“物质的”和“量”分开，它是一个整体，是一个专有名词。

二、物质的量的单位

每个物理量都有各自的单位，如“长度”的单位为米，“质量”的单位为千克，“时间”的单位为秒等。物质的量也有单位，在第 14 届国际计量大会 (CGPM) 上确定为摩尔，简称摩，并用符号 mol 表示。它是国际单位制 (SI) 中的七个基本单位之一。

摩尔的定义为：摩尔是一系统的物质的量，该系统中所包含的基本单元数与 0.012 kg ^{12}C 的原子数目相等。即规定 0.012 kg ^{12}C 中所含碳原子的数目为 1 mol。根据实验测定，0.012 kg ^{12}C 中约含 6.02×10^{23} 个碳原子。因此，1 mol 就是 6.02×10^{23} 个微粒的集合。 6.02×10^{23} 个这个量值被称为阿伏加德罗常数，用符号 N_{A} 表示，单位为 mol^{-1} 。也可以说 1 mol 任何物质都含有 6.02×10^{23} 个基本单元。实际上，“摩尔”与“打”相似，1 打即为 12 的整体，而 1 摩尔表示 6.02×10^{23} 的整体。

在使用摩尔这个单位时，必须要指定基本单元。基本单元可以是分子、原子、离子、电子及其他粒子，也可以是这些粒子的特定组合。

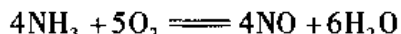
1 mol ^{12}C 含有阿伏加德罗常数个 ^{12}C 原子。

1 mol H_2O 含有阿伏加德罗常数个水分子。

1 mol Na^+ 含有阿伏加德罗常数个 Na^+ 离子。

1 mol 任何物质的指定基本单元，都含有相同的基本单元数。若某物质中所含的某种基本单元数是阿伏加德罗常数的多少倍，则该基本单元就是多少摩尔。

下面用具体的化学反应方程式来分析说明“物质的量”与“化学计量数”。



从上述的化学方程式可以看出，微观上 4 个 NH_3 分子与 5 个 O_2 分子作用能生成 4 个 NO 分子和 6 个 H_2O 分子；将各微观粒子数扩大阿伏加德罗常数倍后，宏观上就表现为 4 mol NH_3 与 5 mol O_2 反应能生成 4 mol NO 和 6 mol H_2O 。这个反应不管是在微观领域还是在宏观领域，各反应物和生成物的比值是一致的，在化学反应方程式中，各物质的物质的量之比等于它们的化学计量数之比。

三、摩尔质量及其有关计算

从上面的讨论我们知道，摩尔是一个数量单位，而不是质量单位。在国际单位制中，物质的质量是以千克来度量的。一定数量的物质必然具有一定的质量。我们把一摩尔物质的质量称为摩尔质量，用符号 M 表示。其国际单位是 kg/mol ，化学上常用单位为 g/mol 。任何原子、分子或离子的摩尔质量，当单位为 g/mol 时，在数值上等于其相对原子质量、分子质量或离子质量。例如，氧气的摩尔质量约为 32 g/mol ，水的摩尔质



量为 18 g/mol, 碳原子的摩尔质量为 12 g/mol。Na⁺ 的摩尔质量为 23 g/mol。

摩尔质量 (M)、物质的量 (n)、物质的质量 (m) 是三个完全不同的概念, 它们之间的关系是:

$$M = \frac{m}{n} \text{ 或 } n = \frac{m}{M} \quad (1-1)$$

人们常用公式 (1-1) 进行相关计算。

例 1-1 36 g 水相当于多少摩尔水分子?

解: 水的相对分子质量是 18, 因此水的摩尔质量是 18 g/mol。

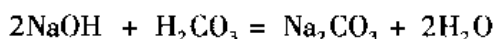
$$n = \frac{m}{M} = \frac{36 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}} = 2 \text{ mol}$$

所以, 36 g 水相当于 2 mol 水, 也可以说 36 g 水的物质的量是 2 mol。

例 1-2 完全中和 120 g 氢氧化钠需要碳酸多少摩尔? 多少克?

解: 氢氧化钠的摩尔质量是 40 g/mol, 碳酸的摩尔质量是 62 g/mol。

$$n_{\text{NaOH}} = \frac{n}{M} = \frac{120 \text{ g}}{40 \text{ g/mol}} = 3 \text{ mol}$$



从化学反应方程式可以看出, 碳酸的物质的量与氢氧化钠的物质的量之比为 1:2, 即

$$n_{\text{H}_2\text{CO}_3} : n_{\text{NaOH}} = 1:2$$

$$n_{\text{H}_2\text{CO}_3} = 0.5 n_{\text{NaOH}} = 0.5 \times 3 \text{ mol} = 1.5 \text{ mol}$$

$$m_{\text{H}_2\text{CO}_3} = nM = 1.5 \text{ mol} \times 62 \text{ g/mol} = 93 \text{ g}$$

所以, 完全中和 120 g 氢氧化钠需要碳酸 1.5 mol, 93 g。

知识链接: 国际单位制简介

国际单位制是 1960 年第 11 届国际计量大会建议并通过的一个单位制。以米、千克、秒公制为基础, 再逐步加上其他单位, 并作了一些规定, 从而制定了国际单位制。国际单位制把现行的各种单位和单位制加以选择和调整, 然后按照一定的原则统一到同一个单位制中来, 从而结束了由于历史原因造成的多种单位制并用的混乱现象, 具有科学、简明、实用和统一的特点, 反映了当代科学技术的水平, 已成为国际上公认的单位制。表 1-1 列出了国际单位制中的七个基本单位。

表 1-1 国际单位制中的七个基本单位

物理量名称	单位名称	单位符号
长度	米	m
质量	千克 (公斤)	kg
时间	秒	s
电流	安 [培]	A



续表

物理量名称	单位名称	单位符号
热力学温度	开 [尔文]	K
物质的量	摩 [尔]	mol
发光强度	坎 [德拉]	cd

第二节 气体摩尔体积

在不同的条件下,物质可以气态、液态和固态三种不同的状态存在,当条件改变时,三种状态可以互相转变。物质的不同状态具有不同的特性,表 1-2 列举了物质在三种状态下主要性质的比较。

表 1-2 物质在三种状态下主要性质的比较

状态	气体	液体	固体
形态	不定,充满整个容器	不定,随容器而定	一定
体积	不定,充满整个容器	固定	固定
密度	小	中等	大
压缩性	可压缩	几乎不可压缩	几乎不可压缩
膨胀性	大	很小	极小
分子排列情况	毫无规则,分子相互远离	无规则,分子间距离较远	排列整齐而密集

从表 1-2 中可以看出,气体同液体和固体相比,具有很大的特殊性。气体最基本的特征是它的高扩散性和可压缩性。将气体(即使是极少量的气体)引入任何容器中,它的分子立即向各方向扩散。如在房内一角放上少量酒精,很快就会在该房的另一角闻到酒精的气味。气体具有很小的密度,分子之间的空隙很大,是其具有较大可压缩性的原因。由于气体分子间距离很大,具有较大的可压缩性,当外界压强改变时,体积变化很大。

一、气体的计量

物质的量和物质的质量是计量物质的基本物理量,可以用来计量固体、液体和气体。但在实际工作中,称量气体的质量相当不方便,因此常用体积来计量气体。气体的体积与温度和压强有关,外界压强或温度的变化,可引起气体体积的变化。因此,在用体积计量气体时,应该指明气体的压强和温度。

科学家们通过大量的实验证明,一定量的同种气体,在不同的温度和压强下,气体



的体积不同；而在相同温度和压强下，物质的量相同的不同气体，体积却大致相等。气体的体积是由物质粒子数、粒子间的距离和粒子本身的大小决定的。通常情况下，气体的分子直径约为 $4 \times 10^{-10} \text{ m}$ ，而分子间的平均距离约为 $4 \times 10^{-9} \text{ m}$ ，即分子间的平均距离约为分子本身直径的 10 倍。因此，气体的体积主要决定于气体分子间的平均距离。在相同的温度和压强下，气体分子间的距离大致相等，体积相同的气体必然含有相同数目的分子。由此总结出一条定律：在相同的温度和压强下，相同体积的任何气体都含有相同数目的分子。该定律称为阿伏加德罗定律。

二、气体摩尔体积的定义

根据阿伏加德罗定律，在标准状况（即压强为 101.325 kPa，温度为 273 K）下，物理的量相同的任何气体的体积都相等。在标准状况下，测得氢气的密度为 0.089 9 g/L、氧气的密度为 1.429 g/L、二氧化碳的密度为 1.977 g/L；氢气的摩尔质量为 2.016 g/mol、氧气的摩尔质量为 32.00 g/mol、二氧化碳的摩尔质量为 44.01 g/mol。根据以上的数据，我们可以计算出 1 mol 氢气、1 mol 氧气和 1 mol 二氧化碳在标准状况下所占的体积：

$$1 \text{ mol 氢气的体积 } V_{\text{H}_2} = \frac{2.016 \text{ g}}{0.089 9 \text{ g/L}} \approx 22.4 \text{ L}$$

$$1 \text{ mol 氧气的体积 } V_{\text{O}_2} = \frac{32.00 \text{ g}}{1.429 \text{ g/L}} \approx 22.4 \text{ L}$$

$$1 \text{ mol 二氧化碳的体积 } V_{\text{CO}_2} = \frac{44.01 \text{ g}}{1.977 \text{ g/L}} \approx 22.3 \text{ L}$$

通过计算可以看出，在标准状况下，1 mol 氢气、氧气和二氧化碳的体积大约都是 22.4 L。大量的计算表明，对于其他任何气体都能得出相同的结论。

在标准状况下，1 mol 任何气体所占的体积都约为 22.4 L，这个体积称为气体摩尔体积，用符号 V_m 表示，单位 L/mol。

对于气体摩尔体积，要注意的关键词是：“标准状况”、“1 mol”、“气体”以及“约”。否则，可能得到错误的结论。

知识链接：阿伏加德罗

阿伏加德罗 1776 年出生于意大利的一个书香门第，他的父亲、祖父和曾祖父都是著名的律师。阿伏加德罗小的时候聪明过人，中学毕业后，他专攻法律，16 岁时就获得法学学士学位，20 岁已获得法学博士学位。在当了 3 年律师之后，由于厌烦了法庭上的争吵和所看到的人世间勾心斗角的混乱情况，他毅然放弃了律师的职业，开始研究自然科学。1800 年后，他主要研究数学、物理、化学和哲学。

1803 年，阿伏加德罗写了一篇关于电的文章，受到了全世界科学界的普遍赞扬。1804 年他本人被选为都灵学院通讯院士，1809 年被聘为维彻利皇家物理学院的教授，还担任过院长一职。

阿伏加德罗在 1811 年提出的分子论，曾被埋没了将近半个世纪。直到 1860 年，由于康尼查罗的工作，分子论才被科学界所确认。



阿伏加德罗一生致力于科学研究，却没有获得过显赫的荣誉。1856年，他平静地去世了。人们根据新的研究，知道了在标准状况（压强为101.325 kPa，温度为273 K）下，1 mol任何气体所占的体积都约是22.4 L，并据此换算出，1 mol任何物质中都约含有 6.02×10^{23} 个组成该物质的粒子，为了纪念阿伏加德罗的贡献，人们把1 mol任何微粒的粒子数叫做阿伏加德罗常数。

三、气体摩尔体积的计算

气体摩尔体积是标准状况下单位物质的量的气体的体积。从定义中可以看出标准状况下气体的体积（ V ）、气体摩尔体积（ V_m ）与物质的量（ n ）三者的关系：

$$n = \frac{V}{V_m} \text{ 或 } V = nV_m \quad (1-2)$$

例1-3 11 g 氨气含有氨多少摩尔？在标准状况下与氨气体积相等的二氧化碳的质量是多少克？

解：氨气的相对分子质量是17，因此氨气的摩尔质量是17 g/mol。

$$n = \frac{m}{M} = \frac{11 \text{ g}}{17 \text{ g/mol}} = 0.65 \text{ mol}$$

根据公式 $V = nV_m$ 可知：在标准状况下，二氧化碳的体积与11 g 氨气的体积相等，表明两种气体的物质的量相等，即二氧化碳的物质的量为0.65 mol。

$$m = nM = 0.65 \text{ mol} \times 44 \text{ g/mol} = 28.6 \text{ g}$$

所以，11 g 氨气含有氨0.65 mol，在标准状况下与11 g 氨气体积相等的二氧化碳的质量是28.6 g。

在使用气体摩尔体积进行计算时要注意：①该计算方法适用于所有的气体，无论是纯净气体还是混合气体；②必须是标准状况。

第三节 溶液的组成量度

溶液与生命过程的关系非常密切，人体质量的60%左右是由体液组成的，如血液、淋巴液以及各种腺体的分泌液等都属于溶液。许多食物必须经过消化形成溶液后才能被人体吸收。临床上常将一些药物配制成具有一定浓度的溶液才能使用。因此，溶液在日常生活、化工生产、科学实验以及在药剂和药检工作中都具有十分重要的应用。

溶液的性质常与溶液中溶质和溶剂的相对数量有关。例如，稀硫酸溶液能与铁起置换反应放出氢气，而浓硫酸则能使铁钝化，因此能用铁制品运输和贮存浓硫酸。同为硫酸，浓度不同，性质相差甚远。因此，我们要了解溶液、使用溶液，就一定要了解其浓度，并能配制相关浓度的溶液。

一、溶液浓度的表示方法

溶液浓度有不同的表示方法，在这里主要讨论物质的量浓度、质量浓度、质量分数



和体积分数四种表示方法。对比例浓度、摩尔分数和质量摩尔浓度的概念只作简要介绍。

1. 物质的量浓度 物质的量浓度简称浓度,其定义为:溶液中溶质 B 的物质的量 (n_B) 除以溶液的体积 (V),用符号 c_B 或 $c(B)$ 表示。如 NaCl 溶液的物质的量浓度,又称 NaCl 溶液的浓度,记为 c_{NaCl} 或 $c(\text{NaCl})$ 。

B 的物质的量浓度的定义式为

$$B \text{ 的物质的量浓度} = \frac{\text{溶质 B 的物质的量}}{\text{溶液的体积}}$$

用符号表示为

$$c_B = \frac{n_B}{V} \text{ 或 } c(B) = \frac{n(B)}{V} \quad (1-3)$$

物质的量浓度在国际单位制中的单位是摩尔/立方米 (mol/m^3),但在医学上物质的量浓度常用的单位是摩尔/升 (mol/L)、毫摩尔/升 (mmol/L) 等。

近年来,世界卫生组织提议:凡是相对分子质量已知的物质在人体内的含量,都用物质的量浓度来表示。例如,正常人体血糖的浓度为 $c(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 3.9 \sim 6.1 \text{ mmol}/\text{L}$;生理盐水的浓度为 $c(\text{NaCl}) = 154 \text{ mmol}/\text{L}$ 。

关于物质的量浓度的计算,主要有以下几种类型:

(1) 已知溶质的质量和溶液的体积求溶液的浓度:

例 1-4 临床上常使用乳酸钠 ($\text{NaC}_3\text{H}_5\text{O}_3$) 注射液的规格是:每 100 ml 乳酸钠溶液中含乳酸钠 11.2 g,求乳酸钠注射液的物质的量浓度。

解:已知 $m_{\text{NaC}_3\text{H}_5\text{O}_3} = 11.2 \text{ g}$, $M_{\text{NaC}_3\text{H}_5\text{O}_3} = 112 \text{ g}/\text{mol}$, $V = 100 \text{ ml} = 0.1 \text{ L}$

$$n_{\text{NaC}_3\text{H}_5\text{O}_3} = \frac{m_{\text{NaC}_3\text{H}_5\text{O}_3}}{M_{\text{NaC}_3\text{H}_5\text{O}_3}} = \frac{11.2 \text{ g}}{112 \text{ g}/\text{mol}} = 0.1 \text{ mol}$$

$$c_{\text{NaC}_3\text{H}_5\text{O}_3} = \frac{n_{\text{NaC}_3\text{H}_5\text{O}_3}}{V} = \frac{0.1 \text{ mol}}{0.1 \text{ L}} = 1 \text{ mol}/\text{L}$$

所以,临床上所使用的乳酸钠注射液的物质的量浓度为 $1 \text{ mol}/\text{L}$ 。

(2) 已知溶液的浓度,计算一定体积的溶液中所含溶质的量:

例 1-5 配制 $0.15 \text{ mol}/\text{L}$ 的 Na_2CO_3 溶液 500 ml,需要 $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 多少克?

解:已知 $c_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = 0.15 \text{ mol}/\text{L}$, $M_{\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}} = 286 \text{ g}/\text{mol}$, $V = 500 \text{ ml} = 0.5 \text{ L}$,有

$$n_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = c_{\text{Na}_2\text{CO}_3} V = 0.15 \text{ mol}/\text{L} \times 0.5 \text{ L} = 0.075 \text{ mol}$$

$$n_{\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}} = n_{\text{Na}_2\text{CO}_3}$$

$$m_{\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}} = n_{\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}} \cdot M_{\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}} = 0.075 \text{ mol} \times 286 \text{ g}/\text{mol} = 21.45 \text{ g}$$

所以,配制 $0.15 \text{ mol}/\text{L}$ 的 Na_2CO_3 溶液 500 ml,需要 $21.45 \text{ g Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 。

(3) 已知溶液的浓度和溶质的质量,求溶液的体积:

例 1-6 现有 7.56 g NaHCO_3 ,问能配制 $0.15 \text{ mol}/\text{L NaHCO}_3$ 溶液多少毫升?

解:已知 $m_{\text{NaHCO}_3} = 7.56 \text{ g}$, $M_{\text{NaHCO}_3} = 84 \text{ g}/\text{mol}$, $c_{\text{NaHCO}_3} = 0.15 \text{ mol}/\text{L}$

$$n_{\text{NaHCO}_3} = \frac{m_{\text{NaHCO}_3}}{M_{\text{NaHCO}_3}} = \frac{7.56 \text{ g}}{84 \text{ g}/\text{mol}} = 0.090 \text{ mol}$$



$$V = \frac{n_{\text{NaHCO}_3}}{c_{\text{NaHCO}_3}} = \frac{0.0900 \text{ mol}}{0.15 \text{ mol/L}} = 0.600 \text{ L} = 600 \text{ ml}$$

所以, 7.56 g NaHCO_3 可配制 0.15 mol/L NaHCO_3 溶液 600 ml。

(4) 已知反应中一种物质的消耗量, 求另一种物质所消耗或生成的量:

例 1-7 中和 0.1 mol/L NaOH 溶液 500 ml, 需要 NH_4Cl 固体多少克?

解: 已知 $c_{\text{NaOH}} = 0.1 \text{ mol/L}$, $V = 500 \text{ ml} = 0.5 \text{ L}$, $M_{\text{NH}_4\text{Cl}} = 53.5 \text{ g/mol}$

$$n_{\text{NaOH}} = c_{\text{NaOH}} V = 0.1 \text{ mol/L} \times 0.5 \text{ L} = 0.05 \text{ mol}$$



根据上述化学反应方程式知 $n_{\text{NH}_4\text{Cl}} = n_{\text{NaOH}} = 0.05 \text{ mol}$

$$\text{所以 } m_{\text{NH}_4\text{Cl}} = n_{\text{NH}_4\text{Cl}} \cdot M_{\text{NH}_4\text{Cl}} = 0.05 \text{ mol} \times 53.5 \text{ g/mol} = 2.68 \text{ g}$$

即中和 0.1 mol/L NaOH 溶液 500 ml, 需要 NH_4Cl 固体 2.68 g。

物质的量浓度的表示方法是实验室最常用的, 只要量取一定体积的溶液, 便很容易计算出其中所含溶质的物质的量, 从而得知溶质的质量。

2. 质量浓度 物质 B 的质量浓度的定义为: 1 L 溶液中所含溶质 B 的质量 (m_B)。用符号 ρ_B 或 $\rho(B)$ 表示。如 NaCl 溶液的质量浓度, 记为 ρ_{NaCl} 或 $\rho(\text{NaCl})$ 。

B 的质量浓度的定义式为

$$\text{B 的质量浓度} = \frac{\text{溶质 B 的质量}}{\text{溶液的体积}}$$

$$\text{用符号表示为 } \rho_B = \frac{m_B}{V} \text{ 或 } \rho(B) = \frac{m(B)}{V} \quad (1-4)$$

质量浓度在国际单位制中的单位是千克/立方米 (kg/m^3), 但在医学上质量浓度常用的单位是克/升 (g/L)、毫克/升 (mg/L) 等。

使用质量浓度时要注意以下几点:

(1) 世界卫生组织提议: 对于相对分子质量未知的物质在溶液中的含量用质量浓度表示。但在绝大多数情况下, 注射液的标签上应同时标明溶液的物质的量浓度和质量浓度。如静脉注射的生理盐水溶液的标签上注明 $c(\text{NaCl}) = 0.154 \text{ mol/L}$, $\rho(\text{NaCl}) = 9 \text{ g/L}$ 。

(2) 以前所使用的质量体积百分浓度应废止, 改用质量浓度代替。如临床上给病人注射用的生理等渗葡萄糖溶液, 以前用 5% (g/ml) 表示, 即指每 100 ml 溶液中含有 5 g 葡萄糖, 现在应标为 50 g/L 葡萄糖。

(3) 在书写质量浓度时, 溶质 B 应以下角标或括号的形式加以说明, 以免与溶液的密度混淆。例如 NaCl 溶液的质量浓度, 记为 ρ_{NaCl} 或 $\rho(\text{NaCl})$, 而 ρ 是指 NaCl 溶液的密度, 用溶液的质量除以溶液的体积而得, 单位常用克/升 (g/L)、克/毫升 (g/ml) 表示。

例 1-8 《中华人民共和国药典》规定, 注射用生理盐水的规格是每 500 ml 生理盐水中含 NaCl 4.5 g。问: (1) 生理盐水的质量浓度是多少? (2) 若某患者需补充 Na^+ 3.5 g, 应注射生理盐水多少毫升?

解: (1) 已知 $m_{\text{NaCl}} = 4.5 \text{ g}$, $V = 500 \text{ ml} = 0.5 \text{ L}$, 有



$$\rho_{\text{NaCl}} = \frac{m_{\text{NaCl}}}{V} = \frac{4.5 \text{ g}}{0.5 \text{ L}} = 9 \text{ g/L}$$

(2) 已知 $m_{\text{Na}^+} = 3.5 \text{ g}$, $M_{\text{Na}^+} = 23 \text{ g/mol}$, $M_{\text{NaCl}} = 58.5 \text{ g/mol}$, 则

$$n_{\text{Na}^+} = \frac{m_{\text{Na}^+}}{M_{\text{Na}^+}} = \frac{3.5 \text{ g}}{23 \text{ g/mol}} = 0.152 \text{ mol}$$

$$n_{\text{NaCl}} = n_{\text{Na}^+} = 0.152 \text{ mol}$$

$$m_{\text{NaCl}} = n_{\text{NaCl}} \cdot M_{\text{NaCl}} = 0.152 \times 58.5 = 8.89 \text{ g}$$

$$V = m_{\text{NaCl}} / \rho_{\text{NaCl}} = \frac{8.89 \text{ g}}{9 \text{ g/L}} = 0.998 \text{ L} = 998 \text{ ml}$$

所以, 生理盐水的质量浓度是 9 g/L , 患者需补充 Na^+ 3.5 g , 应注射生理盐水 998 ml 。

3. 质量分数 物质 B 的质量分数的定义为: 溶质 B 的质量 (m_B) 与溶液的质量 (m) 之比。用符号 ω_B 表示。如 NaCl 溶液的质量分数, 记为 ω_{NaCl} 。

B 的质量分数的定义式为

$$\text{B 的质量分数} = \frac{\text{溶质 B 的质量}}{\text{溶液的质量}}$$

用符号表示为

$$\omega_B = \frac{m_B}{m} \quad (1-5)$$

由于质量分数的定义式中, m_B 和 m 单位相同, 因此质量分数没有量纲, 或者说量纲为“1”。但质量分数可以用小数 (或百分数) 表示, 例如市售浓硫酸的质量分数为 $\omega_B = 0.98$ 或 $\omega_B = 98\%$ 。市售的盐酸、硝酸、氨水等都是用这种方法来表示含量。

4. 体积分数 物质 B 的体积分数的定义为: 溶质 B 的体积 (V_B) 与溶液的体积 (V) 之比。用符号 φ_B 表示。如 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 溶液的体积分数, 记为 $\varphi_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}}$ 。

B 的体积分数的定义式为

$$\text{B 的体积分数} = \frac{\text{溶质 B 的体积}}{\text{溶液的体积}}$$

用符号表示为:

$$\varphi_B = \frac{V_B}{V} \quad (1-6)$$

在体积分数的定义式中, V_B 和 V 单位相同, 因此体积分数没有量纲, 或者说量纲为“1”。但体积分数可以用小数 (或百分数) 表示, 例如医药上消毒酒精的体积分数为 $\varphi_B = 0.75$ 或 $\varphi_B = 75\%$ 。

在医药上, 对于相对分子质量已知的物质在人体内的含量, 一般都用物质的量浓度来表示; 对于相对分子质量未知的物质在人体中的含量用质量浓度表示。但在绝大多数情况下, 相对分子质量已知的物质在溶液中的浓度同时用溶液的物质的量浓度和质量浓度表示; 当溶质是固体或气体, 而溶液是液体时, 溶液的浓度用质量分数来表示; 当溶质是液体, 溶液也是液体时, 溶液的浓度用体积分数来表示。

例 1-9 《中国药典》规定, 药用酒精的体积分数 $\varphi_B = 0.95$, 请问 600 ml 药用酒