

高等医学院校教材

基础化学教程

(供临床、预防、儿科、口腔医学类专业使用)

韩振茂 主编

中国医药科技出版社

高等医学院校教材

基础化学教程

(供临床、预防、儿科、口腔医学类专业使用)

主 编 韩 振 茂

副主编 李 惠 珍

薛 洪 生

张 治 益



中国医药科技出版社

登记证号：(京) 075号

内 容 提 要

本书是在1987年版《基础化学》的基础上，汲取了广大读者的建议，结合现阶段高等医学院校基础化学教学实际编写而成，内容包括无机化学基本理论及物理化学、胶体化学和分析化学的有关内容。此次编写保持了1987年版《基础化学》简明、适用的特点，同时增加了结合医学的新知识和实例。考虑到读者的不同需求，有些内容以小字排印，可供读者选读。每章均有小结，便于掌握该章的基本内容。全书采用《中华人民共和国法定计量单位》和国家标准(GB)中所规定的符号。

本书可作为高等医学院校临床、预防、儿科、口腔医学等专业的教材，也可供其他高等院校有关专业参考使用。

基 础 化 学 教 程

韩振茂 主编

*

中国医药科技出版社 出版发行

(北京西直门外北礼士路甲38号)

(邮政编码：100810)

北京市卫顺印刷厂 印刷

*

开本787×1092mm¹/₁₆ 印张20

字数 455 千字 印数 1—8000

1993年月第1版 1993年月第1次印刷

ISBN 7-5067-0724-1/R·0642

定价：9.50元

前 言

本书是根据现阶段高等医学院校基础化学教学实际及1987年全国医学院校专业教材编审工作会议的精神,在1987年版高等医学院校教材《基础化学》(韩振茂主编,李惠珍、薛洪生副主编,江苏科学技术出版社出版)的基础上,吸取了使用本书院校师生的建议修订的,并更名为《基础化学教程》。本次修订的主要原则是:

(1) 保持1987年版《基础化学》简明、适用的特点。在选材上贯彻“少而精”的原则,注意内容的取舍,力求使教材的广度和深度切合教学实际。

(2) 基本保持1987年版《基础化学》的编写体系。为便于教学,有些章节作了适当调整:删去了人体中微量元素一章,将有关内容精简后安排在原子结构和配位化合物等章节中;将氧化还原滴定法和配位滴定法合并,另立一章。

(3) 为了便于学生自学,将与正文有关,需要进一步说明的内容、疑点和难点以小字排印,供教师选用和学生学时选读。

(4) 为了适应化学与生物学和医学相互渗透的发展趋势,增加了与此有关的知识和医学方面的具体事例,以激发学生的学习兴趣,提高学习的主动性和自觉性,扩大知识面。相信这对其日后工作的发展也将有所裨益。

(5) 各章增加了小结。将各章主要内容和重点归纳于小结中,列于各章之后,可作为该章的基本要求,供学习时参考。

(6) 精选、更新了练习题,同时把题目分成复习题和习题两类,前者侧重于复习、巩固基本概念;后者以解题为主,侧重于概念和规律的运用。

(7) 本书所有物理量和符号,均采用国家法定计量单位和规定。其中有些内容和符号可能一时尚不习惯,加之单位的换算是一项复杂的工作,编者虽经努力,但仍难免有疏漏和错误之处,敬请读者随时指正,以便重印时更正。

参加本次修订和编写工作的有:南京铁道医学院韩振茂、潘秀娟,苏州医学院李惠珍、顾钢、刘建成,南通医学院薛洪生、刘杰,浙江医科大学张治益、陈学平,南京医学院赵复中,徐州医学院朱长文、赵贤美,温州医学院黄辰龙,扬州医学院余东向。

由于编者水平所限,书中不妥之处在所难免,诚恳欢迎读者批评指正。

编 者

1992年7月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 化学研究的对象与内容	1
第二节 化学与医学的关系	1
第三节 基础化学的内容和学习方法	2
第二章 溶液	4
第一节 溶液的组成量度	4
一、物质的量浓度	4
二、质量摩尔浓度	4
三、物质的量分数	5
四、质量浓度	5
五、质量分数	5
六、体积分数	5
第二节 稀溶液的依数性	7
一、溶液的蒸气压下降	8
二、溶液的沸点升高和凝固点降低	8
三、溶液的渗透压	11
四、稀溶液定律	15
本章小结	15
复习题	16
习题	17
第三章 电解质溶液	19
第一节 强电解质溶液理论	19
一、离子互吸学说	19
二、活度和离子强度	20
第二节 酸碱质子理论	21
一、质子理论的酸碱定义	22
二、酸碱反应的实质	22
三、酸碱的强度	23
四、酸碱的电子理论	24
第三节 水溶液中的质子转移平衡	25
一、水的质子自递作用和溶液的pH值	25
二、弱酸弱碱在水溶液中的质子转移平衡	26
第四节 酸碱水溶液中有关离子浓度的计算	30
一、一元弱酸溶液	30

二、一元弱碱溶液	32
三、多元酸(碱)溶液	33
四、两性物质溶液	34
第五节 难溶强电解质溶液的沉淀-溶解平衡	36
一、溶度积	36
二、沉淀-溶解平衡的移动	38
本章小结	40
复习题	41
习题	42
第四章 缓冲溶液	44
第一节 缓冲溶液的作用及组成	44
一、缓冲溶液的概念	44
二、缓冲溶液的组成	44
三、缓冲溶液的作用原理	45
第二节 缓冲溶液pH值的计算	46
一、缓冲溶液pH值的计算式——亨德森-哈塞尔巴赫方程式	46
二、缓冲溶液pH值计算式的校正	49
三、稀释和温度对缓冲溶液pH值的影响	50
第三节 缓冲容量	51
一、缓冲容量的概念	51
二、影响缓冲容量的因素	51
第四节 缓冲溶液的配制	53
一、缓冲溶液的配制原则及方法	53
二、常用的缓冲溶液	54
第五节 缓冲溶液在医学上的意义	57
本章小结	58
复习题	58
习题	59
第五章 酸碱滴定法	61
第一节 滴定分析概述	61
一、滴定分析的特点和分类	61
二、滴定分析对化学反应的要求	61
三、滴定分析的操作程序	62
四、滴定分析的有关计算	63
五、滴定分析结果的误差和有效数字	64
第二节 酸碱滴定法	67
一、酸碱指示剂	67
二、滴定曲线和指示剂的选择	69
三、酸碱标准溶液的配制和标定	74

四、酸碱滴定法的应用实例	75
本章小结	77
复习题	78
习题	78
第六章 化学热力学基础	80
第一节 热力学几个基本概念和热力学第一定律	80
一、热力学中一些常用术语	80
二、热和功	82
三、可逆过程和不可逆过程	83
四、内能和热力学第一定律	84
第二节 化学反应的热效应	85
一、等容反应热和等压反应热	85
二、反应热的测量	86
三、热化学方程式	87
四、盖斯定律	88
五、标准生成焓和标准燃烧焓	89
六、食物热值的计算	91
第三节 热力学第二定律与化学反应自发进行的方向	92
一、自发过程的共同特征和热力学第二定律	92
二、自发过程的动力和熵变	92
三、吉布斯自由能与化学反应自发进行的方向	95
四、 ΔG 与温度的关系——吉布斯-赫姆霍兹方程	97
五、化学反应的吉布斯自由能变的计算	97
六、吉布斯自由能在生物化学中的某些应用	100
第四节 吉布斯自由能与化学平衡	101
一、标准摩尔吉布斯自由能变与平衡常数	101
二、化学平衡的移动	102
本章小结	104
复习题	105
习题	106
第七章 化学反应速率	108
第一节 化学反应速率的表示法	108
第二节 化学反应速率理论简介	110
一、反应机理的概念	110
二、化学反应速率理论简介	111
第三节 浓度对化学反应速率的影响	114
一、基元反应速率与浓度的关系——质量作用定律	114
二、非基元反应的速率方程式	115
三、反应级数和反应分子数	116

四、一级反应、二级反应和零级反应	118
第四节 温度对化学反应速率的影响	122
一、化学反应速率的温度系数	122
二、阿累尼乌斯方程式	123
第五节 催化剂对化学反应速率的影响	124
一、催化作用的特点	125
二、催化作用的理论	125
三、生物催化剂——酶	128
本章小结	129
复习题	130
习题	131
第八章 电极电位与电池电动势	134
第一节 原电池	134
一、氧化还原反应与原电池	134
二、原电池的组成和表示式	135
三、原电池的电动势	136
四、化学电源	137
第二节 电极电位	138
一、电极电位的产生	138
二、电极电位的测定	139
三、标准电极电位	140
第三节 浓度对电极电位的影响	141
一、能斯特 (Nernst) 方程	141
二、能斯特方程计算示例	143
第四节 电极电位及电池电动势的应用	145
一、比较氧化剂和还原剂的强弱	145
二、判断氧化还原反应进行的方向	146
三、判断氧化还原反应进行的次序	148
四、判断氧化还原反应进行的限度	148
五、计算热力学常数	149
第五节 电位分析的若干应用	151
一、电位法测定溶液的pH值	151
二、离子选择电极	154
三、生物传感器简介	154
四、电位滴定法	155
本章小结	155
复习题	156
习题	157
第九章 原子结构	159

第一节 核外电子的运动状态	159
一、微观粒子的波粒二象性	159
二、薛定谔方程	161
第二节 氢原子的原子轨道和电子云	162
一、波函数和原子轨道	162
二、原子轨道和量子数	162
三、原子轨道角度分布图	163
四、电子云的图形	166
五、电子云的径向分布函数图	167
六、电子云的界面图	168
第三节 多电子原子中核外电子的排布	169
一、多电子原子的能级	169
二、核外电子的排布规律	172
第四节 原子的电子层结构和元素周期律	173
一、原子的电子层结构和周期的划分	173
二、原子的电子层结构和族的划分	174
三、原子的电子层结构和元素的分区	174
第五节 元素基本性质的周期性	175
一、原子半径	175
二、电离能	176
三、电子亲和能	176
四、电负性	178
五、氧化数	179
第六节 人体中的化学元素	180
一、人体中元素的分类	180
二、必需元素的生理功能	181
三、某些有害微量元素	182
本章小结	183
复习题	184
习题	184
第十章 分子结构	186
第一节 离子键理论	186
一、离子键	186
二、离子的特征	186
第二节 共价键理论	188
一、价键理论	188
二、键参数	191
三、杂化轨道理论	193
四、价层电子对互斥理论	196

五、分子轨道理论	199
六、键的极性和分子的极性	205
第三节 分子间力和氢键	206
一、范德华力	206
二、离子的极化	208
三、氢键	209
本章小结	210
复习题	211
习题	212
第十一章 配位化合物	213
第一节 配位化合物的基本概念	213
一、配位化合物的定义	213
二、配位化合物的组成	214
三、配位化合物的命名	215
四、配位化合物的几何异构现象	216
第二节 配位化合物的化学键理论	217
一、配位键理论	217
二、晶体场理论	220
第三节 溶液中配合物的稳定性	225
一、配离子的离解平衡	225
二、配位平衡的移动	228
第四节 螯合物及其在生物学和医药学中的应用	231
一、螯合物	231
二、螯合物在生物学和医药学中的应用	232
本章小结	235
复习题	235
习题	236
第十二章 氧化还原滴定法和配位滴定法	238
第一节 氧化还原滴定法	238
一、高锰酸钾法	238
二、碘量法	240
第二节 配位滴定法	243
一、乙二胺四乙酸及其配合物的性质	243
二、EDTA滴定的原理	244
三、金属指示剂	246
四、提高EDTA滴定选择性的方法	248
五、EDTA滴定法的实验过程	249
本章小结	249
复习题	250

习题	251
第十三章 吸光光度分析法	252
第一节 吸光光度法的基本原理	252
一、物质的颜色和光的关系	252
二、光的吸收定律——朗伯-比尔定律	253
第二节 吸光光度法的仪器及测量方法	255
一、吸光光度法的仪器	255
二、吸光光度测定的方法	258
第三节 显色反应及其影响因素	260
一、显色反应及显色剂	260
二、影响显色反应的因素	260
第四节 吸光光度法的误差和测量条件的选择	261
一、吸光光度法的误差	261
二、吸光光度法的测量条件选择	262
第五节 吸光光度法应用实例	262
一、铁的含量测定	263
二、配合物组成的测定	263
三、多组分吸光光度法的测定	265
四、紫外分光光度法推测分子结构	265
本章小结	266
复习题	266
习题	266
第十四章 表面现象与胶体	268
第一节 表面现象	268
一、表面能与表面张力	268
二、吸附现象	269
三、乳浊液的形成	272
第二节 溶胶	273
一、溶胶的光学性质	273
二、溶胶的动力学性质	273
三、溶胶的电学性质	274
四、胶团的结构	276
五、溶胶的稳定性	277
六、溶胶的聚沉	278
第三节 大分子溶液	279
一、大分子化合物	279
二、大分子溶液与溶胶	279
三、大分子溶液的渗透压	280
四、大分子溶液的稳定性	283

五、大分子溶液对溶胶的保护作用	284
第四节 凝胶	284
一、凝胶与胶凝	284
二、弹性凝胶与脆性凝胶	285
三、凝胶的性质	285
本章小结	286
复习题	286
习题	287
附录	289
一、我国法定计量单位	289
I. 国际单位制的基本单位	289
II. 国际单位制的辅助单位	289
III. 国际单位制中具有专门名称的导出单位	289
IV. 国家选定的非国际单位制单位	290
V. 用于构成十进倍数和分数单位的词头	290
二、一些基本物理常数和单位换算	291
I. 一些基本物理常数	291
II. 单位的换算	291
三、一些物质的基本热力学数据	291
I. 一些物质的标准生成焓、标准生成吉布斯自由能和标准熵的数据 (298.15K)	291
II. 一些有机化合物的标准燃烧焓 (298.15K)	292
四、平衡常数	293
I. 弱电解质在水中的离解常数	293
II. 难溶电解质的溶度积常数	294
五、标准电极电位 (298.15K)	295
六、原子的核外电子排布	296
七、四位有效数字原子量表	297
中英文名词对照	299

第一章 绪 论

第一节 化学研究的对象与内容

化学属于自然科学。自然科学研究的对象是客观存在的物质及其运动形式。

物质的种类繁多，但总起来可分为两种基本形态。一种是具有静止质量和体积、形态的实物，如日、月、星辰；钢铁、煤炭；植物、动物、人；分子、原子等。另一种是不具有静止质量的场，如电场、磁场、引力场等。作为自然科学基础学科之一的化学，所研究的对象主要是实物，在化学上一般把研究的实物统称为物质。

运动和变化是物质的属性，物质的运动形式是多种多样的，如机械运动、热运动、电运动等属于物理运动形式；生物的繁衍、生长、衰老、死亡等生命现象属于生物运动形式；而物质的化合、分解等化学变化则属于化学运动形式。物质的各种运动形式由不同的学科分工研究，化学就是研究物质化学运动形式（化学变化）的科学。在化学变化中物质的分子进行着各种类型的转变，因此可以说，化学主要是研究物质的分子转变规律的科学。由于物质的化学变化取决于物质的组成、结构、性质以及变化的条件，因此也可以说化学是一门在分子、原子水平上研究物质的组成、结构、性质及其变化规律和变化条件的科学。

随着对化学运动形式认识地逐步加深，到19世纪，化学形成了无机化学、有机化学、分析化学和物理化学等四个基本学科。

无机化学：研究无机物的化学，它的研究对象是所有元素、单质及其化合物（碳氢化合物及其衍生物除外）。

有机化学：研究有机物，即研究碳氢化合物及其衍生物的化学。

分析化学：研究物质的组成、含量测定的方法及原理的化学。

物理化学：研究物质的化学运动和物理运动之间的相互关系，从而掌握化学变化基本规律的化学。

20世纪以来，化学的发展进入了新的历史时期，称为现代化学时期，其特点是：从宏观到微观、从定性到定量、从静态研究到动态研究、实验设备仪器化和计算机化、从单一学科到边缘学科。化学中各分支学科之间互相渗透，不断分化出许多新的分支学科，如工业化学、农业化学、生物化学、计算化学、地球化学、海洋化学、环境化学、食品化学、药物化学，等等。

第二节 化学与医学的关系

化学与其它科学技术一样，它本身是一种生产力，可以直接参加到生产活动中去，促进生产发展，推动社会进步。当代面临的几个社会问题，如人口的控制、粮食的增产、资源的开发、能源的利用、环境的保护，等等，都需要化学知识。运用化学的原理与方

法,在分子水平上研究一系列生命现象,研究生物衰老的机制和抗衰老的措施,研究各种营养成分的作用原理,测定食物中的有益成分和有害物质以指导人们进行科学的膳食调配,将对疾病的预防、人类的健康、文化发展和社会进步做出更大贡献。

医学的任务是研究人体正常的生理现象和病理现象的规律,寻求预防和治疗疾病的有效方法,以达到战胜疾病,保障人体健康的目的。体内所有的生理现象和病理现象,如消化、吸收、排泄、呼吸等都包含着复杂的化学变化。物质在体内的变化也同样遵循着化学的基本原理和规律。因此必须掌握一定的化学知识,才能更好地研究生命活动的规律,从而深入了解生理、病理现象的实质。

在疾病的诊断、治疗过程中,需要进行化验和使用药物,这也与化学密切相关。例如临床化验常需要利用化学方法进行一系列的检验,测定血、尿等标本中某些成分的含量,以帮助正确诊断疾病。治疗疾病时所用的药物,多半为化学物质,其化学结构和化学性质以及纯度,直接影响着药理作用和毒副作用,药物间的配伍也与其化学性质密切相关。要正确合理用药,必需掌握有关的化学知识。

在卫生监督、疾病预防等方面,需要应用更多的化学理论和方法,如环境卫生、营养卫生、劳动卫生等学科,常需进行饮水分析、食品检验、环境监测等等,这些都离不开化学方法。

在医学的发展中,化学也起着重要的作用。许多化学概念、原理和方法被应用到医学领域中,促进了医学的发展。随着科学技术的进步,现代医学已逐渐深入到分子水平乃至量子水平。例如,从有机物分子的立体结构研究酶和底物的作用和药物与受体的作用,从分子水平上研究某些疾病的致病因子,从微量元素的研究为疾病的早期诊断提供科学依据等等,都说明现代医学的发展需要更多、更深的化学知识。

第三节 基础化学的内容和学习方法

基础化学是高等医学教育中的一门重要的普通基础课,它的任务是使学生获得学习医学所必需的化学基本理论、基础知识和基本技术。它与有机化学一起组成有中国特色的医用化学。

基础化学的内容包括无机化学的基本理论及物理化学、胶体化学和分析化学的有关内容,主要论述化学的基本原理和基本概念。其中有些知识,如溶液的组成量度、渗透压、缓冲溶液、电解质溶液、酸碱理论等将直接在医学上得到应用;有些内容如原子、分子结构理论、配合物理论、化学热力学和化学动力学、电极电位等则是后续课程的重要基础。

基础化学的特点是理论性强,涉及的概念较多,因此难度也较大。学习中要着重理解、掌握化学基本概念和基本原理,并灵活运用以解决实际问题及有关化学计算,这是学习的重点。学习中还要善于运用分析、比较、归纳、综合的方法对有关内容进行分析、归纳,从中找出共性和差异。这样就会使学到的知识系统化,并便于巩固和记忆。

学习中要树立主动、活泼的学习风气。要着重弄懂每一个概念,不要死记硬背,应在理解的基础上力求融会贯通。要积极思考,善于提出问题,并学习查阅有关参考书,培养自己分析问题和解决问题的能力。

化学是一门以实验为基础的学科，许多化学定律、学说都是在实验的基础上提出的。通过实验不但可以加深理解、巩固所学到的基本理论和知识，而且还可以训练进行实验的基本操作，培养独立工作的能力、科学的工作作风和工作方法，因此必须重视实验课，为以后的学习和工作打下牢固的基础。

(李惠珍 薛洪生 韩振茂)

第二章 溶 液

溶液与生命过程的关系极为密切。人的组织间液、血液、淋巴液及各种腺体的分泌液等都是溶液；食物的消化吸收，生命过程必须的氧的吸收和二氧化碳等代谢产物的排出，以及体内的氧化还原反应等，都是在溶液中进行的，离开溶液，也就没有了生命。因此，掌握溶液的组成量度及其有关计算，熟悉溶液的某些性质，对学医学生是十分必要的。

第一节 溶液的组成量度

溶液的稀或浓，常用其组成量度来表示，所谓溶液的组成量度，就是用来表示在一定量溶液或溶剂中所含溶质量多少的一些物理量。根据不同的需要，可选择下列几种组成量度。

一、物质的量浓度

物质的量浓度，在国际单位制（SI）中简称为浓度，符号为 c 。物质 B 的浓度或物质的量浓度 c_B ，其定义是

$$c_B = \frac{n_B}{V} \quad (2-1)$$

式中 n_B 为以摩尔为单位的溶质 B 的物质的量， V 为溶液的体积，其单位为立方米 (m^3)。因此，物质的量浓度 c_B 的单位为 $mol \cdot m^{-3}$ 。由于立方米太大，允许用升 (L) 或立方分米 (dm^3)，所以物质的量浓度单位一般多用 $mol \cdot L^{-1}$ 或 $mol \cdot dm^{-3}$ 。物质的量还可以毫摩尔 (mmol)、微摩尔 (μmol)、纳摩尔 (nmol) 等为单位，此时浓度的单位即为 $mmol \cdot L^{-1}$ 、 $\mu mol \cdot L^{-1}$ 及 $nmol \cdot L^{-1}$ 等。

$$1mol = 1 \times 10^3 mmol = 1 \times 10^6 \mu mol = 1 \times 10^9 nmol$$

值得注意的是，在使用物质的量浓度时，必须将该物质的基本单元指明，它可以是原子、分子、离子以及其它粒子或这些粒子的特定组合体，可以是实际存在的，也可以是根据需要而指定的。例如：

$c(H_2SO_4) = 0.1 mol \cdot L^{-1}$ ，表示每升溶液中含 $0.1 mol (H_2SO_4)$

$c(\frac{1}{2}H_2SO_4) = 0.2 mol \cdot L^{-1}$ ，表示每升溶液中含 $0.2 mol (\frac{1}{2}H_2SO_4)$

$c(2NaOH) = 0.1 mol \cdot L^{-1}$ ，表示每升溶液中含 $0.1 mol (2NaOH)$

$c(Ca^{2+}) = 2.5 mmol \cdot L^{-1}$ ，表示每升溶液中含 $2.5 mmol (Ca^{2+})$

二、质量摩尔浓度

物质 B 的质量摩尔浓度等于溶液中物质 B 的物质的量除以溶剂的质量，用符号 m_B (或 b_B) 表示，单位为 $mol \cdot kg^{-1}$ ，读作“摩尔每千克”。

$$m_B = \frac{n_B}{w(\text{溶剂})} \quad (2-2)$$

三、物质的量分数

物质 B 的物质的量分数，等于物质 B 的物质的量与混合物的物质的量的比值，符号为 x_B 。若溶液由溶质 B 和溶剂 A 两种组分构成，则

$$x_B = \frac{n_B}{n_A + n_B} \quad (2-3)$$

$$x_A = 1 - x_B$$

四、质量浓度

质量浓度的定义是：物质 B 的质量除以混合物的体积，符号 ρ_B ，常用单位是 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。在实际工作中，质量浓度中表示质量的单位可根据需要采用 kg、g、mg、 μg 等，溶液体积只能采用 L，不能采用 dL、mL 或 100mL 等。

在临床生化检验中，凡是相对分子质量已知的物质在人体内的组成量度，原则上均应用物质的量浓度表示；对于相对分子质量未知或尚未准确测得的物质，则可用质量浓度表示。例如，过去血液中葡萄糖含量的正常值表示为 $80 \sim 120 \text{mg}\%$ ，即在 100mL 血液中含葡萄糖 $80 \sim 120 \text{mg}$ ，现应改为 $c(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 4.4 \sim 6.7 \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。对注射液，世界卫生组织认为，在绝大多数情况下，应同时标明质量浓度和物质的量浓度。例如，临床上给病人注射的等渗葡萄糖溶液，过去标为 5% ，现在应标为“ $50 \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ”和“ $0.28 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ”。

五、质量分数

物质 B 的质量与混合物质量之比，称为质量分数，相当于过去的质量-质量百分浓度，符号为 w_B ，属无量纲量。

目前在卫生检验等领域，还沿用 ppm、ppb 及 ppt 作单位来表示极稀溶液的组成量度。它们分别表示一百万份、十亿份及万亿份质量的溶液中所含某溶质的质量份数。

$$\text{ppm} = \frac{\text{某溶质的质量}}{\text{溶液的质量}} \times 10^6$$

$$\text{ppb} = \frac{\text{某溶质的质量}}{\text{溶液的质量}} \times 10^9$$

$$\text{ppt} = \frac{\text{某溶质的质量}}{\text{溶液的质量}} \times 10^{12}$$

六、体积分数

物质 B 的体积分数，系指纯物质 B 在某温度和压力下的体积，除以混合物中各组分的纯物质在该温度和压力下的体积之和。对于液体溶解在液体中所成的溶液，可近似地认为等于溶质的体积除以溶液的体积，符号为 φ_B ，无量纲。