

 NPTGJC


全国普通高等专科学校教育药学类规划教材
QUANGUO PUTONG GAODENG ZHUANKE JIAOYU YAOXUELEI GUIHUA JIAOCAI

无机化学

(第二版)

INORGANIC CHEMISTRY

主 编 刘 斌
副主编 刘志红

 中国医药科技出版社

INORGANIC CHEMISTRY


全国普通高等专科学校教育药学类规划教材

无机化学

(第二版)

主 编 刘 斌

副主编 刘志红

 中国医药科技出版社

内 容 提 要

本书是普通高等专科学校教育药学类专业系列教材之一。

本书按“需用为准、够用为度、实用为先”的原则选取和编排教学内容,包括无机化学原理和元素化学物性质两部分,共计13章。全书重点讲授了溶液理论、化学反应的速率和限度、原子结构和分子结构以及酸碱平衡、沉淀溶解平衡、氧化还原平衡、配位平衡等无机化学基本原理;对于元素化合物性质则以元素周期律为依据,突出重要的、有代表性的元素及其化合物的性质和反应类型,强调其在生物体内的分布和作用,以及其药用价值。还包括“生物无机化学基本知识”一章,介绍了生物元素、生物矿化、矿物药以及现代生物无机化学的发展。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校、成人高校、民办高校及本科院校的二级学院药学及相关专业的教学用书,并可作为社会从业人士的业务参考书及培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

无机化学/刘斌主编. —2版. —北京:中国医药科技出版社,2010.1
全国普通高等专科学校教育药学类规划教材. 供药学专业用
ISBN 978-7-5067-4433-1

I. ①无… II. ①刘… III. ①无机化学-高等学校-教材
IV. ①061

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第194094号

美术编辑 陈君杞

版式设计 郭小平

出版 中国医药科技出版社

地址 北京市海淀区文慧园北路甲22号

邮编 100082

电话 发行:010-62227427 邮购:010-62236938

网址 www.cmstp.com

规格 787×1092mm¹/₁₆

印张 17

字数 365千字

初版 1996年5月第1版

版次 2010年1月第2版

印次 2010年1月第24次印刷

印刷 北京市地泰德印刷有限责任公司

经销 全国各地新华书店

书号 ISBN 978-7-5067-4433-1

定价 34.00元

本社图书如存在印装质量问题请与本社联系调换

序 言

1993年,原国家医药管理局科技教育司鉴于我国药学高等专科学校教育一直没有进行全国性的教材建设,根据国家教委(1991)25号文的要求负责组织、规划高等药学专科教材的编审出版工作。在国家教委的指导下,在对全国高等药学专科教育情况调查的基础上,普通高等专科学校教育药学类教材建设委员会于1993年底正式成立,并立即制订了“八五”教材编审出版规划。1995年,经100多位专家组、编写组教师和中国医药科技出版社的团结协作、共同努力,建国以来第一套普通高等专科学校教育药学类规划教材终于面世了。其后,又根据高等药学专科教育的主要任务是为医药行业生产、流通、服务、管理第一线培养应用型技术人才的需要,立即组织编审、出版了相关的配套教材(实验指导、习题集),以加强对学生的实验教学,培养学生的实际操作能力。

该套规划教材是国家教委“八五”教材建设的一个组成部分。从当时高等药学专科教育的现实情况考虑,统筹规划、全面组织教材建设活动,为优化教材编审队伍,确保教材质量,规范教材规格,起到了至关重要的作用。也正因为如此,这套规划教材受到了药学专科教育的大多数院校的追崇及广大师生的喜爱,其使用情况一直作为全国高等药学专科教育教学质量评估的基本依据之一,可见这套教材的影响之大。

由于我国的高等教育近年进行了一系列改革,我国药学高等专科学校教育变化也较大,加之教学大纲的不断调整,这套教材已不能满足现在的教学需要,亟需进行修订。但是,因为原主管部门已不再管理我国药学高等专科学校教育,加之一些高等药学专科学校已经合并到其他院校,原普通高等专科学校教育药学类教材建设委员会已不能履行修订计划。因此,全国高等医药院校药学类教材编辑委员会接管了这项工作,组成了新的普通高等专科学校教育药学类教材建设委员会,组织了这套规划教材的修订,希望修订后的这套规划教材能够适应当前高等药学专科教育发展的需求。在修订过程中,考虑到高等专科学校教育中全日制教育、函授教育、自学考试等多种办学形式,力求使这套教材能具有通用性,以适应不同办学形式的教学要求。学术是有继承性的,虽然第一版的一些作者已经退休或因为其他原因离开了药学高等专科学校教育岗位,不能继续参加这套教材的修订工作,但是他们对这套教材做出了非常重大的贡献,在此,我们谨对他们表示衷心的感谢。

这套规划教材修订出版后,竭诚欢迎使用本教材的广大读者提出宝贵意见,以便我们进行教材评优工作,不足之处我们将在以后修订时改正。

全国普通高等专科学校教育
药学类规划教材建设委员会
2003年12月

普通高等专科学校教育药学类规划教材编委会

(第二版)

- 主任委员** 姚文兵 (中国药科大学)
- 副主任委员** (按姓氏笔画排名)
- 尹 舫 (湖北中医学院)
- 王 玮 (河南大学药学院)
- 罗向红 (沈阳药科大学)
- 郭 姣 (广东药学院)
- 委 员** (按姓氏笔画排名)
- 丁 红 (山西医科大学)
- 于信民 (菏泽医学高等专科学校)
- 马祥志 (湖南长沙医学院)
- 王润玲 (天津医科大学)
- 王庸晋 (长治医学院)
- 刘 斌 (天津医学高等专科学校)
- 刘志华 (怀化医学高等专科学校)
- 孙 涛 (宁夏医学院)
- 吴琪俊 (右江民族医学院)
- 宋智敏 (哈尔滨医科大学大庆校区)
- 张德志 (广东药学院)
- 李淑惠 (长春医学高等专科学校)
- 肖孟泽 (井冈山医学高等专科学校)
- 陈 旭 (桂林医学院)
- 林 宁 (湖北中医学院)
- 罗载刚 (黔南医学高等专科学校)
- 赵冰清 (湖南师范大学药学院)
- 徐世义 (沈阳药科大学)
- 徐晓媛 (中国药科大学)
- 高允生 (泰山医学院)
- 黄林帮 (赣南医学院)
- 谭桂山 (中南大学药学院)

编 委 会

主 编 刘 斌
副 主 编 刘志红
编 委 (按姓氏笔划排序)
王金英 (牡丹江医学院)
刘 斌 (天津医学高等专科学校)
刘志红 (长春医学高等专科学校)
杨金香 (长治医学院)
范小娜 (赣南医学院)
张书楨 (邢台医学高等专科学校)

前 言

本书是全国普通高等专科学校教育药学类专业系列教材之一。

无机化学是药学类专业重要的基础课，它要为学生学习后续的有机化学、分析化学、药物分析、药物化学、药剂学等重要专业基础课和专业课打下坚实的化学基础。为了使本书适应药学相关岗位对人才的需求和现代药学专科教育改革和发展的需要，在充分调研的基础上，按“需用为准、够用为度、实用为先”的原则选取和编排教学内容。突出了基本理论知识和基本实践技能的培养；不过分强调学科的完整性，而注重教材的整体优化；在内容的阐述上，循序渐进，文字力求简明扼要。

全书按理论授课 62 学时编写，内容包括了无机化学原理和元素化合物性质两部分，共计 13 章。考虑到岗位需求和后续课程的需要，全书重点讲授了溶液理论、化学反应的速率和限度、原子结构和分子结构以及酸碱平衡、沉淀溶解平衡、氧化还原平衡、配位平衡等无机化学基本原理；对于理论性较强的内容，教材做了适当的处理，以学生能够理解和应用知识解决实际问题为原则。对于元素化合物性质则以元素周期律为依据，结合专业需要，突出重要的、有代表性的元素及其化合物的性质和反应类型，强调其在生物体内的分布和作用，以及其药用价值。考虑到药学类专业的特点及现代无机化学的发展，还编写了“生物无机化学基本知识”一章，介绍了生物元素、生物矿化、矿物药以及现代生物无机化学的发展。

全书由天津医学高等专科学校刘斌博士主编，参加编写的有（按章节顺序排列）：牡丹江医学院王金英老师（第一章、第二章、第十二章），长治医学院杨金香老师（第三章、第四章、第五章），长春医学高等专科学校刘志红老师（第六章、第十章），赣南医学院范小娜老师（第七章、第八章），天津医学高等专科学校刘斌老师（第九章、第十三章），邢台医学高等专科学校张书祯老师（第十一章）。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校、成人高校、民办高校及本科院校的二级学院药学及相关专业的教学用书，并可作为社会从业人士的业务参考书及培训用书。鉴于编者水平有限，难免有不当和谬误之处，敬请广大读者批评指正。

编 者
2008 年 1 月

目 录

第一章 溶液	(1)
第一节 分散系	(1)
第二节 溶液的浓度	(2)
一、溶液浓度的表示方法	(3)
二、浓度的有关计算	(5)
第三节 稀溶液的依数性	(7)
一、溶液的蒸气压下降	(7)
二、溶液的沸点升高	(9)
三、溶液的凝固点降低	(10)
四、溶液的渗透压	(12)
第二章 胶体溶液及表面现象	(17)
第一节 溶胶	(17)
一、溶胶的性质	(17)
二、溶胶的稳定性和聚沉	(21)
第二节 高分子化合物溶液	(22)
一、高分子化合物的概念	(22)
二、高分子化合物溶液的形成和特征	(22)
三、高分子溶液对溶胶的保护作用	(23)
第三节 凝胶	(24)
一、凝胶的形成	(24)
二、凝胶的主要性质	(24)
第四节 物质的表面现象	(25)
一、表面张力与表面能	(25)
二、表面吸附	(26)
三、表面活性物质	(27)
第三章 化学反应动力学	(30)
第一节 化学反应速率	(30)
一、化学反应速率及表示方法	(30)
二、反应的活化能	(31)

三、化学反应速率的影响因素	(33)
第二节 化学反应的限度	(40)
一、可逆反应与化学平衡	(40)
二、化学平衡常数	(41)
三、多重平衡规则	(43)
第三节 化学反应进行的方向	(43)
一、浓度对化学平衡的影响	(44)
二、压力对化学平衡的影响	(45)
三、温度对化学平衡的影响	(45)
第四章 酸碱平衡	(48)
第一节 酸碱质子理论	(48)
一、酸碱质子理论	(48)
二、酸碱反应	(49)
三、酸碱的强度	(50)
第二节 溶液的酸碱性	(51)
一、水的解离平衡	(51)
二、溶液的酸度	(51)
三、酸碱指示剂	(52)
第三节 电解质溶液	(53)
一、强电解质	(53)
二、弱电解质溶液	(55)
第四节 缓冲溶液	(61)
一、缓冲溶液的组成和作用原理	(61)
二、缓冲溶液 pH 的计算	(63)
三、缓冲溶液的配制	(65)
第五章 沉淀 - 溶解平衡	(68)
第一节 难溶电解质的溶度积	(68)
一、沉淀 - 溶解平衡	(68)
二、溶度积常数	(68)
三、溶度积与溶解度	(70)
四、溶度积规则	(71)
第二节 沉淀的生成和溶解	(72)
一、沉淀的生成	(72)
二、分步沉淀	(74)
三、沉淀的溶解	(75)
四、沉淀的转化	(76)

第六章 氧化还原与电极电势	(78)
第一节 氧化还原反应的基本概念	(78)
一、氧化数	(78)
二、氧化还原共轭关系	(79)
三、氧化还原反应式的配平	(80)
第二节 电极电势	(81)
一、原电池	(81)
二、电极电势的产生	(82)
三、标准电极电势的测定	(83)
四、影响电极电势的因素——Nernst 方程	(85)
第三节 电极电势的应用	(87)
一、比较氧化剂和还原剂的相对强弱	(87)
二、判断氧化还原反应自发进行的方向	(89)
三、判断氧化还原反应进行的限度	(91)
四、元素标准电极电势图及其应用	(93)
第七章 原子结构	(96)
第一节 核外电子运动状态	(96)
一、电子云的概念	(96)
二、核外电子运动状态的描述	(97)
三、多电子原子轨道的能级	(100)
四、基态原子中电子分布原理	(101)
第二节 电子结构与元素周期表	(106)
一、元素周期性与电子层结构的关系	(106)
二、元素性质的周期性	(108)
第八章 共价键与分子结构	(112)
第一节 共价键理论	(112)
一、现代价键理论	(112)
二、杂化轨道理论	(116)
三、价层电子对互斥理论	(120)
四、键参数	(123)
第二节 分子间作用力与氢键	(125)
一、分子的极性	(125)
二、分子间作用力	(125)
三、氢键	(127)

第九章 配位化合物	(130)
第一节 配位化合物的基本概念	(130)
一、配合物及其组成	(130)
二、配合物的化学式及命名	(132)
三、配合物的类型	(133)
第二节 配合物的价键理论	(135)
一、价键理论的基本要点	(135)
二、内轨型配合物和外轨型配合物	(136)
三、配合物类型的判断	(138)
四、配合物的立体构型	(138)
五、配合物的几何异构	(139)
第三节 配位平衡	(140)
一、稳定常数和不稳定常数	(140)
二、配位离解平衡的应用	(141)
三、螯合物的稳定性	(145)
第四节 配合物的应用	(145)
一、在分析化学中的应用	(145)
二、在生物科学和医学领域中的应用	(146)
三、在工农业领域中的应用	(147)
第十章 s 区元素及其化合物	(150)
第一节 碱金属元素	(150)
一、碱金属的通性	(150)
二、碱金属的氧化物和氢氧化物	(151)
三、常见的碱金属盐类	(152)
四、碱金属元素在生物体内的分布及作用	(152)
五、常用的含碱金属元素药物	(153)
第二节 碱土金属元素	(153)
一、碱土金属的通性	(153)
二、碱土金属的氧化物和氢氧化物	(154)
三、常见的碱土金属盐类	(155)
四、碱土金属元素在生物体内的分布及作用	(155)
五、常用的含碱土金属元素药物	(156)
第十一章 p 区重要元素及其化合物	(157)
第一节 卤素	(157)
一、卤素的通性	(157)

二、卤素单质·····	(158)
三、卤化氢和氢卤酸·····	(160)
四、卤素的含氧酸及其盐·····	(161)
五、卤素在生物体内的分布及作用·····	(163)
六、常用的含卤素药物·····	(164)
第二节 氧族元素·····	(164)
一、氧族元素的通性·····	(165)
二、氧、臭氧和过氧化氢·····	(165)
三、硫、硫化氢和金属硫化物·····	(167)
四、硫的重要含氧酸及其盐·····	(169)
五、氧族元素在生物体内的分布及作用·····	(173)
六、常用的含氧族元素药物·····	(173)
第三节 氮族元素·····	(174)
一、氮族元素的通性·····	(174)
二、氨和铵盐·····	(175)
三、氮的含氧酸及其盐·····	(177)
四、磷的含氧酸及其盐·····	(178)
五、砷、锑、铋的重要化合物·····	(180)
六、氮族元素在生物体内的分布及作用·····	(181)
七、常用的含氮族元素药物·····	(182)
第四节 碳族和硼族元素·····	(182)
一、碳族和硼族元素的通性·····	(183)
二、活性炭的吸附作用·····	(184)
三、碳的无机含氧酸及其盐·····	(185)
四、硅的含氧化合物·····	(187)
五、硼酸和硼砂·····	(189)
六、铝、锡、铅的重要化合物·····	(190)
七、碳族和硼族元素在生物体内的分布及作用·····	(193)
八、常用的含碳族和硼族元素药物·····	(194)

第十二章 过渡元素····· (197)

第一节 过渡元素的通性·····	(197)
一、过渡元素的基本性质变化特征·····	(197)
二、过渡金属单质的物理性质·····	(199)
三、过渡金属的化学性质·····	(200)
第二节 重要过渡元素及其化合物·····	(203)
一、铬和锰·····	(203)
二、铁、钴、镍·····	(208)

三、铜和银·····	(211)
四、锌、镉、汞的重要化合物·····	(214)
五、过渡元素在生物体内的分布及作用·····	(216)
六、常用的含过渡元素药物·····	(218)
第十三章 生物无机化学基本知识 ·····	(221)
第一节 生物无机化学研究的内容和方法·····	(221)
第二节 生物元素·····	(222)
一、生物元素的分类·····	(222)
二、最适营养浓度定律·····	(224)
三、生物金属元素的存在形式·····	(225)
四、生物元素的生理功能·····	(226)
第三节 生物矿化·····	(227)
一、生物矿物与生物矿化·····	(227)
二、生物矿物的分类·····	(228)
三、基质·····	(229)
第四节 矿物药·····	(231)
一、矿物药的分类·····	(231)
二、矿物药作用的化学基础·····	(233)
三、矿物药的特点·····	(234)
四、矿物药研究方向·····	(235)
第五节 生物无机化学的应用·····	(236)
一、生物无机化学与现代医学·····	(236)
二、化学模拟生物过程·····	(238)
附录 ·····	(247)
附录一 元素的相对原子质量·····	(247)
附录二 常用酸碱的相对密度和浓度·····	(248)
附录三 一些质子酸的解离常数·····	(248)
附录四 常用酸碱指示剂·····	(249)
附录五 常用缓冲溶液的配制和 pH ·····	(250)
附录六 常见难溶化合物的溶度积常数·····	(250)
附录七 常见配离子的稳定常数 $K_{\text{稳}}$ ·····	(252)
附录八 EDTA 的酸效应系数 ·····	(254)
附录九 一些电对的标准电极电势 φ° (298.15K) ·····	(254)

第一章 溶 液

溶液 (solution) 与人类的生命过程、日常生活、工农业生产和科学实验密切相关。许多化学反应需要在溶液中进行；食物需要消化形成溶液后才能被人体吸收；临床上常将一些药配置成一定浓度的溶液使用；血液、淋巴液等人体内体液以及各种腺体的分泌物等，也属于溶液的范畴。可见，溶液在人类的生产活动、科学实验和生命过程中具有十分重要的意义。

溶液可以分为电解质溶液和非电解质溶液。难挥发非电解质稀溶液的“依数性”是本章要讨论的主要内容。

第一节 分 散 系

一种或几种物质分散在另一种物质中所形成的系统称为分散系 (dispersed system)。其中被分散的物质称为分散相 (dispersed phase)，容纳分散相的连续介质称为分散介质 (dispersed medium)。例如：蔗糖分散在水中成糖水，泥土分散在水中成泥浆。糖水、泥浆都是分散系，其中蔗糖和泥土等物质是分散相，而水是分散介质。

按照分散相粒子的大小，可以把分散系分为真溶液（即分子离子分散系）、胶体分散系和粗分散系（表 1-1），它们具有不同的扩散速度和通透性。真溶液的分散相粒子小于 1nm，粗分散系分散相粒子大于 100nm，介于两者之间的是胶体分散系，属于这一类分散系的主要有溶胶和高分子化合物溶液。

表 1-1 分散系的分类

分散相粒子的大小	分散系统类型	分散相粒子的组成	一般性质	实例	
<1nm	分子、离子分散系 (真溶液)	低分子或离子	均相；热力学稳定系统；分散性粒子扩散快，能透过滤纸和半透膜，形成真溶液	NaCl、NaOH、C ₆ H ₁₂ O ₆ 等水溶液	
1~100nm	胶体分散系	溶胶	胶粒 (分子、离子、原子的聚集体)	非均相；热力学不稳定系统；分散相粒子扩散慢，能透过滤纸，不能透过半透膜	氢氧化铁、硫化铁、碘化银及金、银、硫等单质溶胶
		高分子溶液	高分子	均相；热力学稳定系统；分散相粒子扩散慢，能透过滤纸，不能透过半透膜，形成溶液	蛋白质、核酸等水溶液，橡胶的苯溶液
		缔合胶体	胶束	均相；热力学稳定系统；分散相粒子扩散慢，能透过滤纸，不能透过半透膜，形成胶囊溶液	超过一定浓度的十二烷基硫酸钠溶液
>100nm	粗分散系 (乳状液、悬浊液)	粗粒子	非均相；热力学不稳定系统；分散相粒子不能透过滤纸和半透膜	乳汁、泥浆等	

最常见的分子离子分散系是糖水和盐水。由于分散相粒子很小，用很高倍数的显微镜也不能看出分散在水中的蔗糖分子或 Na^+ 、 Cl^- 离子。将糖水或盐水倒在滤纸上，蔗糖分子或 Na^+ 、 Cl^- 离子与水分子一样可自由通过滤纸。将糖水或盐水放在密闭容器里，只要不改变外界条件，无论放置多久，糖和盐也不会从水中析出。可见分子分散系是由分散相与分散介质组成的均匀而稳定的体系。通常把这种分散系称为溶液，而将分散相（蔗糖、盐）与分散介质（水）分别称为溶质和溶剂。

溶液可以是固态的（如合金）、液态的（如糖水、盐水）和气态的（空气），不过通常所说的溶液都是指液态溶液。而水是最常见的溶剂，通常不明确指明溶剂的溶液都是水溶液。水溶液是最重要的一种溶液。除水之外的其他液体，如乙醇、苯、乙醚等也可以为溶剂，所形成的溶液称为非水溶液。对非水溶液要注明溶剂名称。例如，碘溶解在乙醇中的溶液称为碘的乙醇溶液。

溶胶的分散相粒子即胶体粒子是由许多分子或原子聚集而成的。例如，硫溶胶、金溶胶及氢氧化铁溶胶。而高分子化合物溶胶的分散相粒子就是单一的高分子化合物分子，分子的大小已达到 $1 \sim 100\text{nm}$ 范围。高分子化合物（如蛋白质）溶解于溶剂（如水）中即成高分子化合物溶液。

在一个体系中，物理和化学性质相同的部分称为“相”，每一相内部都是均匀的（即以分子或离子为单位互相混匀），而相与相之间由界面分开。根据分散系中相数的不同，分散系又可分为均相分散系（homogeneous dispersed system）和非均相分散系（heterogeneous dispersed system）两大类。凡是只含有一个相的分散系称为均相（单相）分散系，而含两个或两个相以上的分散系则称为非均相（多相）分散系。当分散质以单个分子（或离子）分散在分散介质中时，分散系的每一个部分都是溶质分子（或离子）和溶剂分子的均匀混合物，分散质和分散介质之间没有界面，每一部分的物理和化学性质完全相同，形成一相，故这样的分散系属于均相分散系（如碘酒、盐水等）。当分散系的分散质粒子是由许多分子组成的粗分散系时，分散质粒子与分散介质因其物理和化学性质不同，分散质和分散介质它们之间存在有界面，成为不均匀的两相（无论分散系中有多少个相同的分散质粒子也只属于一相）。这样多相的分散系属于非均相分散系（如乳状液、泥浆等）。

分子离子分散系、胶体分散系和粗分散系之间虽然有明显的区别，但没有明显的界线，三者之间的过渡是渐变的，某些系统可以同时表现出两种或者三种分散系的性质。因此，以分散质粒子直径的大小作为分散系分类的依据是相对的。

第二节 溶液的浓度

溶液的浓度（concentration）是指溶液中溶质和溶剂的相对含量。它的表示方法很多，可分为两大类：一类是用溶质和溶剂（或溶液）的相对量表示，另一类是用一定体积溶液含溶质的量表示。这里所指的量是质量（g、kg）或物质的量（mol）。

一、溶液浓度的表示方法

(一) 物质的量浓度

溶液的物质的量浓度 (amount of substance concentration) 定义为: 溶质 B 的物质的量 n_B 除以溶液的体积。即:

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

式中 c_B 为 B 的物质的量浓度, V 是溶液的体积。

物质的量浓度的 SI 单位是摩尔每立方米, 符号为 mol/m^3 。在实际工作中常用摩尔每升和毫摩尔每升, 符号为 mol/L 和 mmol/L 。在不致引起混淆时, 物质的量浓度可简称浓度。

值得注意的是, 在使用物质的量浓度时, 必须指明物质的基本单元, 它可以是原子、分子、离子或其他粒子中的任何一种。如某氯化钠溶液的物质的量浓度为 $1\text{mol}/\text{L}$, 可表示为: $c(\text{NaCl}) = 1\text{mol}/\text{L}$ 。括号中的化学式表示物质的基本单元。

物质的量浓度是实验室最常用的浓度表示法, 只要用量筒、滴定管或移液管取一定体积的溶液, 通过物质的量浓度很容易计算出其中所含溶质的物质的量 (mol)。如 50ml 浓度为 $18\text{mol}/\text{L}$ 的浓硫酸中所含 H_2SO_4 的物质的量为:

$$n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 18 \times \frac{50}{1000} = 0.90 \text{ (mol)}$$

此法的缺点是由于溶液体积的变化, 溶液浓度随温度略有变化。在实际工作中, 有时需采用其他的浓度表示方法。

(二) 质量浓度

质量浓度 (mass concentration) 定义为: 溶质 B 的质量 (m_B) 除以溶液的体积 (V), 即:

$$\rho_B = \frac{m_B}{V} \quad (1-2)$$

ρ_B 为质量浓度, SI 制单位为 kg/m^3 , 常用单位为 g/L 、 mg/L 或 g/ml 。如药典中所指稀盐酸、稀硫酸、稀硝酸的质量浓度都为 $0.10\text{g}/\text{ml}$ 。

(三) 质量摩尔浓度

质量摩尔浓度 (molality) 定义为: 溶质 B 的物质的量 n_B 除以溶剂的质量 m_A (kg), 即:

$$b_B = \frac{n_B}{m_A} \quad (1-3)$$

b_B 为溶质 B 的质量摩尔浓度, 单位为 mol/kg 。例如, 已知 NaCl 的摩尔质量为 $58.5\text{g}/\text{mol}$, 若将 58.5g 的 NaCl 溶于 1kg 水或 5.85g 的 NaCl 溶于 100g 水中, 所得溶液的

质量摩尔浓度都是 1.00mol/kg 。

此法的优点是浓度数值不受温度影响，所以在讨论某些理论问题时，常用质量摩尔浓度，而不用物质的量浓度。缺点是用台秤或天平称量液体很不方便。对于较稀的水溶液来说，质量摩尔浓度近似等于其物质的量浓度。即： $1\text{mol/kg} \approx 1\text{mol/L}$ 。

(四) 摩尔分数

摩尔分数 (mole fraction) 是某物质的量分数的简称。它表示某物质的物质的量与混合物的总物质的量之比。它是量纲为 1 的量，常用符号 x 表示，设某溶液由溶质 B 和溶剂 A 组成，则溶质 B 的摩尔分数为：

$$x_B = \frac{n_B}{n_A + n_B} \quad (1-4a)$$

式中 n_B 表示溶质 B 的物质的量。同理，溶剂 A 的摩尔分数为：

$$x_A = \frac{n_A}{n_A + n_B} \quad (1-4b)$$

显然， $x_A + x_B = 1$ 。溶液中各物质的摩尔分数之和等于 1。

例 1-1：将 10g NaCl 和 90g 水配制溶液，该溶液中 NaCl 和 H_2O 的摩尔分数各为多少？

解：NaCl 的物质的量 $n_{\text{NaCl}} = \frac{\text{质量}}{\text{摩尔质量}} = \frac{10\text{g}}{58.5\text{g/mol}} = 0.17\text{mol}$

H_2O 的物质的量 $n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\text{质量}}{\text{摩尔质量}} = \frac{90\text{g}}{18\text{g/mol}} = 5.0\text{mol}$

NaCl 的摩尔分数 $x_{\text{NaCl}} = \frac{0.17}{0.17 + 5.0} = 0.033$

H_2O 的摩尔分数 $x_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{5.0}{0.17 + 5.0} = 0.967$

答：该溶液中 NaCl 和 H_2O 的摩尔分数分别为 0.033 和 0.967。

化学反应中物质的质量比是复杂的，但摩尔比是简单的。所以用摩尔分数表示浓度可以和化学反应直接联系起来，同时这种浓度表示方法也常用到稀溶液性质的研究上。

此外，与摩尔分数类似还可以用质量分数、体积分数来表示的溶液浓度。

溶质 B 的质量 (m_B) 与溶液的质量 (m) 之比，称为物质 B 的质量分数。质量分数是一个量纲为 1 的量，用符号 ω_B 表示。即：

$$\omega_B = \frac{m_B}{m}$$

例如：浓硫酸的质量分数为 0.96，则可表示为 $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.96$ ；即 100g 浓硫酸中含 96g H_2SO_4 。

在相同的温度和压力下溶质 B 的体积 (V_B) 与溶液的体积 (V) 之比，称为物质 B 的体积分数，体积分数也是一个量纲为 1 的量，用符号 φ_B 表示。即：

$$\varphi_B = \frac{V_B}{V}$$