

“十三五”全国高等医学院校本科规划教材

供基础、临床、护理、预防、
中医、口腔、药学、医学技术类专业用

医用化学

Medical Chemistry

· 第 2 版 ·

主编 徐红 杜曦



北京大学医学出版社

“十三五”全国高等医学院校

供基础、临床、护理、预防、中医、口腔、药学、医学技术类专业用

医用化学

Medical Chemistry

(第2版)

主 编 徐 红 杜 曦

副主编 郭建敏 张振涛 胡庆红 秦子平 冯广卫

编 委 (按姓名汉语拼音排序)

杜 曦 (西南医科大学)	秦子平 (广西科技大学)
额尔敦 (内蒙古医科大学)	孙智勇 (遵义医学院珠海校区)
冯广卫 (贵州医科大学)	王译伟 (西南医科大学)
高宗华 (滨州医学院)	卫星星 (长治医学院)
郭建敏 (西南医科大学)	席晓岚 (贵州医科大学)
郭今心 (山东大学)	徐 红 (贵州医科大学)
侯小娟 (湖南医药学院)	闫云辉 (新乡医学院)
胡庆红 (遵义医学院)	杨 清 (贵州医科大学神奇民族医药学院)
李红梅 (齐齐哈尔医学院)	于 昆 (大连医科大学)
李 蓉 (贵州医科大学)	张振涛 (内蒙古医科大学)
李 伟 (重庆医科大学)	赵全芹 (山东大学)
李 智 (成都医学院)	

北京大学医学出版社

YIYONG HUAXUE

图书在版编目 (CIP) 数据

医用化学/徐红, 杜曦主编. —2 版. —北京:
北京大学医学出版社, 2018.7 (2018.9 重印)
ISBN 978-7-5659-1807-0

I. ①医… II. ①徐… ②杜… III. ①医用化学—医
学院校—教材 IV. ①R313

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 107135 号

医用化学 (第 2 版)

主 编: 徐 红 杜 曦

出版发行: 北京大学医学出版社

地 址: (100191) 北京市海淀区学院路 38 号 北京大学医学部院内

电 话: 发行部 010-82802230; 图书邮购 010-82802495

网 址: <http://www.pumpress.com.cn>

E - mail: booksale@bjmu.edu.cn

印 刷: 中煤 (北京) 印务有限公司

经 销: 新华书店

责任编辑: 王孟通 责任校对: 金彤文 责任印制: 李 啸

开 本: 850mm×1168mm 1/16 印张: 18.5 插页: 1 字数: 533 千字

版 次: 2018 年 7 月第 2 版 2018 年 9 月第 2 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5659-1807-0

定 价: 45.00 元

版权所有, 违者必究

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

主编简介



徐 红

女，1970年生于贵州省。现任贵州医科大学教授，硕士生导师；贵州医科大学医学人文学院副院长。

承担有机化学、医用化学、分析化学等化学课程的本科教学26年。主编、参编国家级规划教材8部。在国内外学术期刊发表研究论文50余篇，其中被SCI、EI收录8篇；积极主持教学改革，发表教学论文4篇。先后主持贵州省自然科学基金、课题8项，主持贵州省重点教改项目、贵州医科大学教学质量工程项目等3项；2008年、2011年分别荣获贵阳医学院教改成果三等奖。2014年、2016年担任国家级大学生创新创业训练计划重点项目指导老师。



杜 曦

女，1973年生于四川省泸州市。现任西南医科大学教授，硕士生导师；泸州市化学化工学会理事，《西南医科大学学报》编委会编委。

承担医药化学课程本科教学23年。主要研究方向为手性药物及中间体的合成与分析。主编或参编国家级规划教材2部，其他规划教材4部。在国内外学术期刊发表研究论文（第一作者或通讯作者）30余篇，其中被SCI或EI收录论文3篇，教学研究论文3篇。先后主持省级课题1项、厅局级课题7项，获泸州市科技成果二等奖1项。

修订说明

国务院办公厅颁布《关于深化医教协同进一步推进医学教育改革与发展的意见》、以“5+3”为主体的临床医学人才培养体系改革、教育部本科临床医学专业认证等一系列重要举措，对新时期高等医学教育人才培养提出了新的要求，也为教材建设指明了方向。

北京大学医学出版社出版的临床医学专业本科教材，从2001年开始，历经3轮修订、17年的锤炼，各轮次教材都高比例入选了教育部“十五”“十一五”“十二五”国家级规划教材。为了顺应医教协同和医学教育改革与发展的要求，北京大学医学出版社在教育部、国家卫生健康委员会和中国高等教育学会医学教育专业委员会指导下，经过前期的广泛调研、综合论证，启动了第4轮教材的修订再版。

本轮教材基于学科制课程体系，在院校申报和作者遴选、编写指导思想、临床能力培养、教材体系架构、知识内容更新、数字资源建设等方面做了优化和创新。共启动47种教材，其中包含新增的《基础医学概论》《临床医学概论》《诊断学》《医患沟通艺术》4种。《基础医学概论》和《临床医学概论》虽然主要用于非临床医学类专业学生的学习，但须依托于临床医学的优秀师资才能高质量完成，故一并纳入本轮教材中。《诊断学》与《物理诊断学》《实验诊断学》教材并存，以满足不同院校课程设置差异。第4轮教材修订的主要特点如下：

1. 为更好地服务于全国高等院校的医学教育改革，对参与院校和作者的遴选精益求精。教材建设的骨干院校结合了研究型与教学型院校，并注重不同地区的院校代表性；由各学科的委员会主任委员或理事长和知名专家等担纲主编，由教学经验丰富的专家教授担任编委，为教材内容的权威性、院校普适性奠定了坚实基础。

2. 以“符合人才培养需求、体现教育改革成果、教材形式新颖创新”为指导思想，以深化岗位胜任力培养为导向，坚持“三基、五性、三特定”原则，密切结合国家执业医师资格考试、全国硕士研究生入学考试大纲。

3. 部分教材加入了联系临床的基础科学案例、临床实践应用案例,使教材更贴近基于案例的学习、以问题为导向的学习等启发式和研讨式教学模式,着力提升医学生的临床思维能力和解决临床实际问题的能力;适当加入知识拓展,引导学生自学。

4. 为体现教育信息化对医学教育的促进作用,将纸质教材与二维码技术、网络教学平台相结合,教材与微课、案例、习题、知识拓展、图片、临床影像资料等融为一体,实现了以纸质教材为核心、配套数字教学资源的融媒体教材建设。

在本轮教材修订编写时,各院校对教材建设提出了很好的修订建议,为第4轮教材建设的顶层设计和编写理念提供了详实可信的数据储备。第3轮教材的部分主编由于年事已高,此次不再担任主编,但他们对改版工作提出了很多宝贵的意见。前3轮教材的作者为本轮教材的日臻完善打下了坚实的基础。对他们的贡献,我们一并表示衷心的感谢。

尽管本轮教材的编委都是多年工作在教学一线的教师,但囿于现有水平,书中难免有不当之处。欢迎广大师生多提宝贵意见,反馈使用信息,以臻完善教材的内容,提高教材的质量。

“十三五”全国高等医学院校 本科规划教材评审委员会

顾 问 王德炳

主任委员 柯 杨 詹启敏

副主任委员 吕兆丰 王维民

秘 书 长 王凤廷

委 员 (按姓名汉语拼音排序)

蔡景一 曹德品 崔慧先 邓峰美 丁元林

管又飞 黄爱民 黄元华 姜志胜 井西学

黎孟枫 李春江 李春鸣 李 燕 刘传勇

刘永年 刘志跃 罗自强 雒保军 宋晓亮

宋焱峰 宋印利 唐世英 陶仪声 王 滨

王鹏程 王松灵 温小军 文民刚 肖纯凌

尹思源 于春水 袁聚祥 张晓杰 朱望东

序

国务院办公厅《关于深化医教协同进一步推进医学教育改革与发展的意见》(以下简称《意见》)指出,医教协同推进医学教育改革与发展,加强医学人才培养,是提高医疗卫生服务水平的基础工程,是深化医药卫生体制改革的重要任务,是推进健康中国建设的重要保障。《意见》明确要求加快构建标准化、规范化医学人才培养体系,全面提升人才培养质量。要求夯实5年制临床医学教育的基础地位,推动基础与临床融合、临床与预防融合,提升医学生解决临床实际问题的能力,推进信息技术与医学教育融合。从国家高度就推动医学教育改革作出了部署、明确了方向。

高质量的医学教材是满足医学教育改革、培养优秀医学人才的核心要素,与医学教育改革相辅相成。北京大学医学出版社出版的临床医学专业本科教材,立足于岗位胜任力的培养,促进自主学习能力建设,成为临床医学专业本科教学的精品教材,为全国高等医学院校教育教学与人才培养工作发挥了重要作用。

在医教协同的大背景下,北京大学医学出版社启动了第4轮教材的修订再版工作。全国医学院校一大批活跃在教学一线的专家教授,以无私奉献的敬业精神和严谨治学的科学态度,积极参与到本轮教材的修订和建设工作中。相信在全国高等医学院校的大力支持下,有广大专家教授的热情奉献,新一轮教材的出版将为我国高等医学院校人才培养质量的提高和医学教育改革的发展发挥积极的推动作用。

柯楊 詹小敏

前 言

医用化学是基础医学、临床医学、全科医学、护理学、生物技术、医学实验技术、中医学、中西医临床医学等专业的主要基础课程之一，同时，也是为学生进行专业课程学习奠定必要基础的重要课程。

本教材的编写由来自全国 14 所高校 23 位编委通力合作完成。为了充分体现先进性、适用性和完整性，在第 1 版基础上对编写体系进行了调整，对内容进行了重新整合，并力求将化学理论和方法融合于生命科学。本版对每章的内容进行了提炼、取舍，并对部分章节的习题做了更新，以提高与章节内容的适应性。以二维码的方式增加了知识拓展、每章小结、习题参考答案，方便学生自主学习。

全书共 23 章，在第 2 版修订工作中，本着循序渐进、先易后难、由浅入深的原则，对章节内容进行了调整，将第 1 版“第一章 溶液和胶体”的“溶液”和“胶体”分别独立成章，为“第一章 溶液”和“第四章 胶体”，使教材内容层次更分明、结构更合理。

本教材的编写参考了《基础化学》《有机化学》《医用化学》《无机化学》《分析化学》《药物化学》《生物化学与分子生物学》等各级各类本、专科教材，在此谨向编写这些教材的专家们致以崇高的敬意。本教材沿用了《医用化学》第 1 版中的部分图、表和资料，对未参加本次编写工作的原编者致以谢意。本次编写工作得到了各编委所在院校及北京大学医学出版社的大力支持，尤其是贵州医科大学和遵义医学院珠海校区圆满地承办了编写会议和定稿会议，在此一并致谢。

本教材经编委会确定内容后，经过初稿讨论、交叉审稿、编委修改、主编和副主编修改等环节，最后由主编再次审稿并定稿，力求精益求精。但是限于编者水平，错误和不足之处在所难免，诚恳希望各位同行、专家和读者批评指正，以便重印或再版时纠正。

编 者

2018 年 4 月

二维码资源索引

资源名称	资源类型	页码
血液净化技术	下载资源	7
第一章小结	下载资源	8
习题一参考答案	下载资源	8
龋齿的产生及防护	下载资源	23
第二章小结	下载资源	23
习题二参考答案	下载资源	24
酸碱中毒	下载资源	32
第三章小结	下载资源	33
习题三参考答案	下载资源	33
胶体化学与医药学的关系	下载资源	34
气溶胶	下载资源	35
第四章小结	下载资源	43
习题四参考答案	下载资源	44
药物稳定性与化学动力学	下载资源	53
酶与疾病的关系	下载资源	54
第五章小结	下载资源	58
习题五参考答案	下载资源	58
电化学生物传感技术	下载资源	61
第六章小结	下载资源	70
习题六参考答案	下载资源	71
量子纠缠	下载资源	72
第七章小结	下载资源	88
习题七参考答案	下载资源	89
金属与蛋白质的相互作用	下载资源	96
第八章小结	下载资源	97
习题八参考答案	下载资源	97
纳米分析化学	下载资源	111
第九章小结	下载资源	111
习题九参考答案	下载资源	111
科学家简介	下载资源	114
紫外分光光度法简介	下载资源	119

资源名称	资源类型	页码
红外光谱法简介	下载资源	119
第十章小结	下载资源	119
习题十参考答案	下载资源	119
有机化学与生命科学的关系	下载资源	120
第十一章小结	下载资源	125
习题十一参考答案	下载资源	126
自由基与人类健康	下载资源	134
天然保健食品	下载资源	137
第十二章小结	下载资源	140
习题十二参考答案	下载资源	141
β -内酰胺抗生素	下载资源	145
第十三章小结	下载资源	151
习题十三参考答案	下载资源	152
手性药物的两面性	下载资源	162
第十四章小结	下载资源	162
习题十四参考答案	下载资源	163
维生素 E	下载资源	170
第十五章小结	下载资源	174
习题十五参考答案	下载资源	175
视觉化学	下载资源	180
室内杀手 甲醛	下载资源	183
第十六章小结	下载资源	183
习题十六参考答案	下载资源	185
青霉素的发现	下载资源	186
第十七章小结	下载资源	196
习题十七参考答案	下载资源	197
磺胺类药物	下载资源	198
第十八章小结	下载资源	207
习题十八参考答案	下载资源	208
阿司匹林的发明人究竟是谁	下载资源	211
第十九章小结	下载资源	217
习题十九参考答案	下载资源	218
卟啉	下载资源	224
第二十章小结	下载资源	229
习题二十参考答案	下载资源	229
反式脂肪酸的危害	下载资源	232
脂肪肝及肝硬化	下载资源	233

资源名称	资源类型	页码
胆固醇与动脉粥样硬化	下载资源	236
第二十一章小结	下载资源	239
习题二十一参考答案	下载资源	240
来自纤维素的燃料乙醇	下载资源	253
第二十二章小结	下载资源	253
习题二十二参考答案	下载资源	253
蛋白质药物展望	下载资源	255
第二十三章小结	下载资源	263
习题二十三参考答案	下载资源	264

目 录

第 1 章 溶液	1	第 7 章 原子结构和分子结构	72
第一节 溶液浓度的表示方法	1	第一节 原子结构	72
第二节 溶液的渗透压	3	第二节 分子结构	81
习题一	8	习题七	88
第 2 章 电解质溶液	9	第 8 章 配位化合物	90
第一节 电解质的基本概念	9	第一节 配合物的基本知识	90
第二节 酸碱质子理论	11	第二节 配合物在水溶液中的	
第三节 水溶液中的酸碱平衡	12	稳定性	92
第四节 水溶液的酸碱性与 pH	15	第三节 螯合物	95
第五节 难溶强电解质溶液的沉淀溶解		第四节 配合物在生物医药方面的	
平衡	18	应用	96
习题二	23	习题八	97
第 3 章 缓冲溶液	25	第 9 章 滴定分析法	98
第一节 缓冲溶液及其作用原理	25	第一节 滴定分析法概述	98
第二节 缓冲溶液 pH 的计算	26	第二节 酸碱滴定法	102
第三节 缓冲容量	28	第三节 氧化还原滴定法	108
第四节 缓冲溶液的配制	30	习题九	111
第五节 缓冲溶液在医学上的意义	32	第 10 章 分光光度法	112
习题三	33	第一节 分光光度法的基本原理	112
第 4 章 胶体	34	第二节 测量仪器和定量方法	115
第一节 胶体分散系	34	第三节 分光光度法的误差及测定	
第二节 溶胶	34	条件选择	117
第三节 高分子溶液	38	习题十	119
第四节 表面活性剂与乳状液	40	第 11 章 有机化合物概述	120
习题四	43	第一节 有机化合物和有机化学	120
第 5 章 化学反应速率和化学平衡	45	第二节 有机化合物的结构	120
第一节 化学反应速率	45	第三节 有机化合物的反应类型	123
第二节 影响化学反应速率的因素	48	第四节 有机化合物的分类	124
第三节 化学平衡	54	习题十一	125
习题五	58	第 12 章 链烃	127
第 6 章 氧化还原反应和电极电势	59	第一节 结构和构造异构	127
第一节 氧化还原反应	59	第二节 命名	130
第二节 原电池和电极电势	61	第三节 物理性质	133
第三节 影响电极电势的因素	66	第四节 化学性质	133
第四节 电势法测定溶液的 pH	68	第五节 共轭二烯烃	137
习题六	70	习题十二	140

第 13 章 环烃	142	第三节 与医药学相关的化合物	
第一节 脂环烃	142	举例	205
第二节 芳香烃	145	习题十八	207
习题十三	151	第 19 章 取代羧酸	209
第 14 章 立体异构	153	第一节 羧基酸	209
第一节 构象异构	153	第二节 酮酸	212
第二节 顺反异构	156	第三节 氨基酸	214
第三节 对映异构	157	习题十九	217
习题十四	162	第 20 章 杂环化合物和生物碱	219
第 15 章 醇、酚、醚	164	第一节 杂环化合物	219
第一节 醇	164	第二节 生物碱	226
第二节 酚	168	习题二十	229
第三节 醚	171	第 21 章 脂类	230
第四节 硫醇、硫酚和硫醚	172	第一节 油脂	230
第五节 与医药学相关的化合物		第二节 磷脂	232
举例	173	第三节 甾族化合物	235
习题十五	174	习题二十一	239
第 16 章 醛、酮	176	第 22 章 糖类	241
第一节 分类和命名	176	第一节 单糖	241
第二节 结构	177	第二节 双糖	249
第三节 性质	178	第三节 多糖	250
第四节 与医药学相关的化合物		习题二十二	253
举例	183	第 23 章 肽、蛋白质和核酸	254
习题十六	184	第一节 肽	254
第 17 章 羧酸及羧酸衍生物	186	第二节 蛋白质	255
第一节 羧酸	186	第三节 核酸	259
第二节 羧酸衍生物	190	习题二十三	263
第三节 与医药学相关的化合物		附录 1 中国法定计量单位	265
举例	195	附录 2 平衡常数表	268
习题十七	196	附录 3 标准电极电势表 (298.15 K) ...	272
第 18 章 胺和酰胺	198	主要参考文献	275
第一节 胺	198	中英文专业词汇索引	277
第二节 酰胺	203		

一种或多种物质以分子、原子或离子状态分散于另一物质中形成的均匀、稳定的分散系统称为溶液 (solution)。溶液由溶质 (solute) 和溶剂 (solvent) 组成。一般所说的溶液常指液态溶液, 多数情况下指水溶液。溶液与生命过程密切相关, 人体的组织间液、血液、淋巴液及各种腺体的分泌液等都是溶液, 体内物质的消化、吸收和转运等许多生物化学反应都在溶液中进行。因此, 掌握溶液浓度的表示方法、溶液的渗透压等相关知识, 对医学生十分重要。

第一节 溶液浓度的表示方法

一、物质的量浓度

溶质 B 的物质的量浓度 (amount-of-substance concentration) 定义为 B 的物质的量 n_B 除以溶液的体积 V , 用符号 c_B 表示。

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

c_B 的 SI 单位为 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$, 医学上常用的单位为 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

物质的量浓度简称为浓度, 使用时需注明基本单元。基本单元可以是原子、分子、离子等粒子, 或是这些粒子的特定组合, 用粒子的符号、物质的化学式或它们的特定组合来表示。

世界卫生组织建议: 凡是已知相对分子质量的物质在体液内的含量均应使用物质的量浓度表示。

例 1-1 临床上注射用生理盐水的规格通常是 500 ml, 该注射液中含 4.5 g NaCl, 计算该注射用生理盐水的物质的量浓度。

解 已知 $m(\text{NaCl}) = 4.5 \text{ g}$, $V = 0.500 \text{ L}$, $M(\text{NaCl}) = 58.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$\text{因为 } n(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl})} = \frac{4.5 \text{ g}}{58.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.077 \text{ mol}$$

$$\text{所以 } c(\text{NaCl}) = \frac{n(\text{NaCl})}{V} = \frac{0.077 \text{ mol}}{0.500 \text{ L}} = 0.154 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

二、质量浓度

溶质 B 的质量浓度 (mass concentration) 定义为 B 的质量 m_B 除以溶液的体积 V , 用符号 ρ_B 表示。

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

ρ_B 的 SI 单位为 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, 医学上常用的单位为 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

例 1-2 临床上使用的葡萄糖溶液的规格通常是 500 ml, 该溶液中含 25.0 g 葡萄糖 ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$), 计算该葡萄糖溶液的质量浓度。

解 根据式 (1-2), 葡萄糖溶液的质量浓度为

$$\rho(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)}{V} = \frac{25.0 \text{ g}}{0.500 \text{ L}} = 50.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

质量浓度 ρ_B 和物质的量浓度 c_B 是两种最常用的浓度表示方法, 根据定义, 可以推出它们之间的关系。

$$\text{即} \quad \rho_B = c_B M_B \quad (1-3)$$

三、质量摩尔浓度

溶质 B 的质量摩尔浓度 (molality) 定义为溶液中某溶质 B 的物质的量 n_B 除以溶剂的质量 m_A , 单位为 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$, 符号为 b_B 。

$$b_B \stackrel{\text{def}}{=} \frac{n_B}{m_A} \quad (1-4)$$

质量摩尔浓度的优点是不受温度的影响。对于稀水溶液来说, 其物质的量浓度与质量摩尔浓度的数值几乎相等。

例 1-3 将 0.14 g KCl 晶体溶于 50 g 水中, 计算该溶液的质量摩尔浓度。

解 已知 KCl 的摩尔质量为 $74.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, 所以, KCl 的质量摩尔浓度为

$$b(\text{KCl}) = \frac{n(\text{KCl})}{m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{0.14 \text{ g}}{74.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} \times \frac{1}{0.050 \text{ kg}} = 0.038 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

四、质量分数

溶液中物质 B 的质量分数 (mass fraction), 用符号 ω_B 表示, 定义为 B 的质量 m_B 除以溶液的质量 m 。

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

ω_B 的 SI 单位为 1, 可以用百分数和小数表示。

例 1-4 将 100 g 葡萄糖 ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) 溶于 1000 g 水中配成溶液, 计算所得溶液中葡萄糖 ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) 的质量分数。

$$\text{解} \quad \omega(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)}{m_{\text{溶液}}} = \frac{100 \text{ g}}{100 \text{ g} + 1000 \text{ g}} = 9.1\%$$

五、物质的量分数

物质的量分数 (amount-of-substance fraction) 又称为物质的量比或摩尔分数。溶液中物质 B 的物质的量分数定义为 B 的物质的量 n_B 与溶液总的物质的量 $\sum_i n_i$ 之比, 符号为 x_B , SI 单位为 1。

$$x_B \stackrel{\text{def}}{=} \frac{n_B}{\sum_i n_i} \quad (1-6)$$

设溶液由溶质 B 和溶剂 A 组成, 则溶质 B 的物质的量分数为

$$x_B = \frac{n_B}{n_A + n_B}$$

式中, n_B 为溶质 B 的物质的量, n_A 为溶剂 A 的物质的量。同理, 溶剂 A 的物质的量分数为

$$x_A = \frac{n_A}{n_A + n_B}$$

显然 $x_A + x_B = 1$ 。

例 1-5 将 20.0 g NaH_2PO_4 溶解于 80.0 g H_2O 中配制成溶液。计算该溶液中 NaH_2PO_4 及 H_2O 的物质的量分数。

解 因为 $M(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = 120 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(\text{H}_2\text{O}) = 18.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$\text{所以 } n(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = \frac{m(\text{NaH}_2\text{PO}_4)}{M(\text{NaH}_2\text{PO}_4)} = \frac{20.0 \text{ g}}{120 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.167 \text{ mol}$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{80.0 \text{ g}}{18.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 4.44 \text{ mol}$$

$$x(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = \frac{n(\text{NaH}_2\text{PO}_4)}{n(\text{NaH}_2\text{PO}_4) + n(\text{H}_2\text{O})} = \frac{0.167 \text{ mol}}{0.167 \text{ mol} + 4.44 \text{ mol}} = 0.036$$

$$x(\text{H}_2\text{O}) = \frac{n(\text{H}_2\text{O})}{n(\text{NaH}_2\text{PO}_4) + n(\text{H}_2\text{O})} = \frac{4.44 \text{ mol}}{0.167 \text{ mol} + 4.44 \text{ mol}} = 0.964$$

六、体积分数

物质 B 的体积分数 (volume fraction), 用符号 φ_B 表示, 定义为 B 的体积 V_B 除以溶液的体积 V 。

$$\varphi_B \stackrel{\text{def}}{=} \frac{V_B}{V} \quad (1-7)$$

φ_B 的 SI 单位为 1, 也可以用百分数和小数表示。例如, 310.15 K 时, 人体动脉血中氧气的体积分数 $\varphi(\text{O}_2) = 0.196$ (或 19.6%); 消毒酒精中乙醇的体积分数 $\varphi(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 0.75$ (或 75%)。

第二节 溶液的渗透压

物质的溶解是一个物理化学过程, 当溶质溶解于溶剂中形成溶液后, 溶液的性质已不同于纯溶质和纯溶剂。溶液的性质可分为两类: 一类与溶质的本性有关, 如颜色、导电性、酸碱性等; 另一类与溶质本性无关, 只取决于溶液中所含溶质粒子的浓度, 如溶液中溶剂的蒸气压下降、溶液的沸点升高、凝固点下降及渗透压等。对于稀溶液而言, 这类只取决于溶液中溶质粒子浓度的性质具有一定的规律性, 称为稀溶液的依数性 (colligative properties)。其中, 溶液的渗透压在生命科学中尤为重要, 对细胞内外物质的交换与运输、水及电解质的代谢等具有重要意义。

一、渗透现象和渗透压

生活中有许多现象, 如因失水而发蔫的蔬菜、水果, 浇水后又重新恢复生机; 人们在淡水中游泳, 如果时间过长, 眼睛会红肿并有疼痛的感觉; 用蒸馏水冲洗伤口会感觉到胀痛。这些都与渗透有关。

如果用半透膜将纯溶剂和溶液隔开, 并使两侧液面相平 (图 1-1a), 经过一段时间以后, 可见溶剂一侧的液面下降, 溶液一侧的液面上升 (图 1-1b), 说明溶剂分子不断通过半透膜进入溶液中。不同浓度的两溶液用半透膜隔开, 可以发生类似现象。这种溶剂分子通过半透膜扩散导致的从纯溶剂向溶液或从稀溶液向浓溶液的净转移现象称为渗透 (osmosis)。半透膜 (semipermeable membrane) 是一种只允许某些物质透过, 而不允许另一些物质透过的薄膜, 其种类多种多样, 通透性也各不相同。如动物的膀胱膜、细胞膜、毛细血管壁等生物膜, 生化试验中应用的透析袋、超滤膜等都是半透膜。其中, 只允许溶剂分子自由透过, 而不允许溶质