



高职高专“十一五”规划教材

基础化学

JICHU HUAXUE

吴 华 董宪武 主 编

刘 强 副主编

上官少平 主 审



化学工业出版社

高职高专“十一五”规划教材

基础化学

吴 华 董宪武 主编

刘 强 副主编

上官少平 主审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书内容以“必需、够用”为原则,将无机化学、有机化学、分析化学及其实验内容整合在一起。全书分为无机及分析化学、有机化学和实验三大部分。无机及分析化学部分将四大化学平衡与定量化学分析中的四大滴定有机结合在一起,突出了对各种基本化学分析方法的实际应用。有机化学部分按照官能团的顺序介绍了烃及其衍生物和糖类、脂类、蛋白质等内容。实验部分将各类实验内容具体细化,强化了综合设计性实验同理论教学内容的紧密结合。

本教材通俗易懂、简明精练、强化化学基础知识,具有实用性、针对性和先进性。

本书适用于高职院校农林、医药卫生、化工类专业,也可作为专科层次其他相关专业的教材和参考书。

基础化学

主编 吴华 董宪武

主审 战河红

审主 王少平

图书在版编目(CIP)数据

基础化学/吴华,董宪武主编. —北京:化学工业出版社,2008.7

高职高专“十一五”规划教材

ISBN 978-7-122-02884-6

I. 基… II. ①吴…②董… III. 化学-高等学校:技术学院-教材 IV. 06

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第092999号

责任编辑:旷英姿 袁俊红

装帧设计:周 遥

责任校对:战河红

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷:大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市前程装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张21½ 字数569千字 2008年8月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

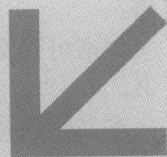
网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:35.00元

版权所有 违者必究

前言



化学是一门综合的、实用的、创造性的学科,是农林、医药卫生、化工、环境、材料、能源、信息、生命科学与技术的基础。当人类面临环境的保护、能源的开发、功能材料的研制、可持续发展等问题时,化学是不可缺少的,因为化学是能够创造新物质的学科,化学与人类的衣食住行密切相关。

基础化学是培养大学生基本素质的课程,是农业、医药卫生、化工专业类高职高专学生的一门必修基础课程,是现代人才知识结构中不可缺少的部分。

本书是农业、医药卫生、化工类三年制高职高专院校规划教材,参编学校有多年的高职高专办学历史,充分考虑到高职高专学生的特点,广泛收集并借鉴了国内外同类教材的优点而编写的。

在本书编写的过程中,特别注重突出了以下几方面的特色:

1. 改善教学体系,将无机化学、有机化学、分析化学、实验化学整合,注重内容的基础性,突出为农业、医药卫生、化工专业教学服务的特点。

2. 本教材内容的确定是在调查研究并总结多年的教学实践基础上,精简繁琐的计算推导,删除过深的化学理论阐述,使教学内容更符合实际需求。减少教学时数,全书共计 22 章,需 90~120 学时,各校可根据具体情况作适当取舍。

3. 编者力求在教材的科学性、先进性、可读性、趣味性上下工夫,力求反映化学学科的最新进展及化学与农业、医药卫生、化工的联系。教材中特别设置了知识拓展,反映现代化学学科的新观念、新知识、新理论和新技术。

4. 本教材内容深广度适中,注重基本理论、基本知识和基本实验技能的教学,理论联系实际,注重对学生分析问题、综合解决问题、创新思维能力的培养。力求重点突出、基本原理叙述清楚、概念准确、语言简练、深入浅出,方便学生自学。教材中带有“*”的内容为选学内容,各校可根据专业的需要对教学内容进行适当调整。

5. 无机及分析化学部分将四大化学平衡与定量化学分析中的四大滴定有机结合在一起,突出了对各种基本化学分析方法的实际应用。有机化学部分按照官能团的顺序介绍了烃及其衍生物和糖类、脂类、蛋白质等内容。实验部分将各类实验内容具体细化,精心选编了 19 个实验,强化了综合设计性实验,做到同理论教学内容紧密地结合。

6. 本教材编写结构上包括教学目标、本章小结、习题等,便于学生复习、巩固和提高,也便于学生知识面的拓宽。是一本具有鲜明特色的高职高专类基础课程教材。

本书由吴华、董宪武任主编,刘强任副主编。黑龙江农业职业技术学院吴发远编写第一、二章,吴华编写第三、四、八、二十二章,李士华编写第五~七章,吉林农业科技学院姜辉编写第九、十章,刘强编写第十一~十四章,王丰编写第十五~十七章,董宪武编写第十八、十九章,范秀明编写第二十、二十一章,薛晓丽编写实验部分。全书由吴华、董宪武通读、修改、统稿,并由黑龙江农业职业技术学院有多年编写经验的上官少平副教授主审后

定稿。

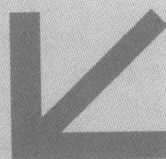
本书可供高职高专农林、医药卫生、化工等专业使用，也可作为其他专业的教材和参考书。

本书在编写过程中得到了编写学校领导和教研室同仁们及化学工业出版社编辑的热情支持与大力帮助，在此表示衷心的感谢。特别感谢上官少平在整个编写过程中提出编写建议并认真核对教材内容。限于编者水平，书中不妥之处，恳请同行和读者批评指正，我们当虚心听取意见，一定在再版时改正。我们确信本书将通过教学实践不断得到完善。

编 者

2008年5月

目录



无机及分析化学篇

第一章 溶液和胶体	2	二、核外电子运动状态	29
第一节 溶液	2	三、原子轨道的近似能级图	32
一、溶液的一般概念	2	四、核外电子排布规则	33
二、溶液组成的若干表示方法	2	五、核外电子的排布	34
三、溶液组成之间的相互换算	4	第二节 原子结构和元素周期系	34
第二节 稀溶液的依数性	5	一、元素性质呈现周期性的内在原因	34
一、溶液的蒸气压下降	5	二、周期与族的划分	35
二、渗透压	7	三、原子结构与元素性质	36
三、溶液沸点上升和凝固点下降	8	第三节 物质的形成	39
第三节 胶体	9	一、离子键	39
一、分散系	9	二、共价键	40
二、胶体的性质	10	三、金属键	44
三、胶体的结构	11	第四节 分子间力和氢键	45
四、胶体的破坏	12	一、分子的极性和电偶极矩	45
五、胶体的应用	12	二、分子间力的种类和特点	46
本章小结	12	三、氢键	47
习题	13	四、分子间力和氢键对物质的物理性质的影响	47
第二章 化学反应速率和化学平衡	15	本章小结	48
第一节 化学反应速率	15	习题	48
一、化学反应速率表示方法	15	知识拓展 反物质——宇宙中还有一个“反地球”吗?	49
二、活化能与碰撞理论	16	第四章 滴定分析法概论	51
三、影响化学反应速率的因素	17	第一节 滴定分析法概述	51
第二节 化学平衡	19	一、滴定分析法原理	51
一、可逆反应与化学平衡	19	二、滴定分析法的特点	52
二、实验平衡常数	20	三、滴定分析法的类型	52
三、标准平衡常数	21	四、滴定分析法对化学反应的要求	52
第三节 化学平衡的移动	22	五、滴定分析方式	52
一、影响化学平衡移动的因素	22	六、基准物质和标准溶液	53
二、吕·查德里原理及其实践意义	24	第二节 误差的基本知识	54
本章小结	24	一、误差的分类及产生原因	54
习题	25	二、误差的表示方法	55
第三章 原子结构与分子结构	27	第三节 有效数字及其运算规则	58
第一节 原子核外电子运动状态	27		
一、核外电子运动状态的理论描述	27		

一、有效数字	58	习题	90
二、有效数字的运算规则	58	知识拓展 定点突变	91
本章小结	59	第七章 沉淀溶解平衡和沉淀滴定法	92
习题	60	第一节 沉淀溶解平衡	92
第五章 电解质溶液和解离平衡	62	一、沉淀溶解平衡	92
第一节 电解质的解离平衡	62	二、溶度积规则	93
一、强电解质	62	三、溶度积常数规则的应用	93
二、弱电解质	63	四、溶度积和溶解度的相互换算	94
第二节 缓冲溶液	67	第二节 沉淀滴定法	95
一、缓冲溶液及其组成	67	一、沉淀滴定法原理	95
二、缓冲作用的原理	68	二、沉淀滴定法及其指示剂的选择	95
三、缓冲溶液的 pH 计算	68	三、沉淀滴定法的应用	97
四、缓冲溶液的配制	69	本章小结	98
五、缓冲溶液在生物科学中的作用	69	习题	98
第三节 盐的水解	70	第八章 氧化还原反应和氧化还原	
一、盐的水解概念和类型	70	滴定法	100
二、水解平衡和水解常数	70	第一节 氧化还原反应	100
三、影响盐类水解的因素	72	一、氧化数	100
本章小结	73	二、氧化还原反应的实质	101
习题	74	三、常用的氧化剂和还原剂	101
知识拓展 生物体液如何维持酸碱平衡	75	四、氧化还原方程式的配平	102
第六章 酸碱质子理论和酸碱滴定法	77	第二节 氧化还原滴定法简介	104
第一节 酸碱质子理论	77	一、氧化还原滴定法原理	104
第二节 酸碱指示剂	79	二、氧化还原指示剂	104
一、酸碱指示剂的变色原理	79	三、常用氧化还原滴定法及应用	105
二、酸碱指示剂变色范围	80	本章小结	108
三、混合指示剂	81	习题	108
第三节 强酸(碱)滴定强碱(酸)	81	知识拓展 新型储氢技术	109
一、滴定过程中 pH 计算和滴定曲线	81	第九章 配位平衡和配位滴定法	110
二、pH 的滴定突跃范围和指示剂的选择	82	第一节 配位化合物	110
第四节 强碱(酸)滴定一元弱酸(碱)	83	一、配位化合物的定义及组成	110
一、滴定过程中 pH 的计算和滴定曲线	83	二、配合物的命名	112
二、pH 的突跃范围和指示剂的选择	84	三、螯合物	112
* 第五节 多元弱酸(碱)的滴定	85	第二节 配位化合物解离平衡	112
一、多元弱酸的滴定	85	一、配位化合物在水溶液中的解离平衡	
二、多元弱碱的滴定	85	及其影响因素	112
第六节 酸碱滴定法应用示例	86	二、稳定常数、不稳定常数及有关	
一、直接滴定法	86	计算	113
二、间接滴定法	87	三、配位化合物解离平衡的移动及其	
第七节 酸碱滴定分析计算的根据	88	意义	114
一、滴定剂与待测组分的计量关系	88	第三节 配位滴定法	116
二、物质的量与物质的质量之间的关系	88	一、配位滴定法原理	116
三、溶质物质的量与溶液浓度之间的		二、配位滴定法指示剂选择	116
关系	88	三、影响滴定突跃的因素	117
四、溶质物质的量、溶液浓度与待测物质		四、配位滴定中酸度的控制	118
质量分数之间的关系	88	第四节 金属指示剂	119
本章小结	90	一、金属指示剂的作用原理	119
		二、金属指示剂应具备的条件	119

三、使用金属指示剂应注意的问题	119
四、常用金属指示剂	120
本章小结	121
习题	121
第十章 吸光光度法	123
第一节 光的性质及物质对光的吸收	
定律	123
一、吸光光度法的特点	123
二、光的性质	123
三、光的选择性吸收及溶液的呈色	124
四、光的吸收定律	124

第二节 比色法与分光光度法	126
一、目视比色法	126
二、光电比色法	126
三、分光光度法	127
第三节 吸光光度法的应用实例	127
一、磷的测定	127
二、高含量组分的测定方法——示差法	127
本章小结	128
习题	128
知识拓展 分光光度法测定蛋白质含量	129

有机化学篇

第十一章 开链烃	132
第一节 有机化合物概述	132
一、有机化合物	132
二、有机化学的产生和发展	132
三、有机化合物的分类	133
第二节 烷烃	133
一、烷烃的同系列和同分异构现象	134
二、烷烃的命名	135
三、烷烃的结构	136
四、烷烃的物理性质	137
五、烷烃的化学性质	138
六、自然界的烷烃	139
第三节 烯烃	139
一、乙烯的结构	139
二、烯烃的异构和命名	139
三、烯烃的物理性质	140
四、烯烃的化学性质	141
五、自然界中的烯烃	143
第四节 炔烃	143
一、乙炔的结构	143
二、炔烃的异构和命名	143
三、炔烃的物理性质	143
四、炔烃的化学性质	144
第五节 二烯烃	145
一、二烯烃的分类和命名	145
二、1,3-丁二烯的结构	146
三、共轭二烯烃的化学性质	146
四、异戊二烯和橡胶	147
本章小结	147
习题	148
知识拓展 能成为爆炸物的立方烷	
衍生物——八硝基立方烷	149
第十二章 环烃	150

第一节 脂环烃	150
一、环烷烃的异构现象和命名	150
二、环丙烷的结构	151
三、环烷烃的物理性质	151
四、环烷烃的化学性质	151
第二节 单环芳烃	152
一、芳烃的结构分类	152
二、苯分子的结构	152
三、单环芳烃的异构现象与命名	153
四、芳烃的物理性质	154
五、单环芳烃的化学性质	155
六、苯环的取代基定位规律	157
第三节 稠环芳烃	158
一、稠环芳烃的结构	158
二、萘的化学性质	158
本章小结	159
习题	160
第十三章 卤代烃	161
第一节 卤代烃分类和命名	161
一、卤代烃的分类	161
二、卤代烃的命名	161
第二节 卤代烃的物理性质	162
第三节 卤代烃的化学性质	162
一、卤原子的取代反应	163
二、消除反应	163
三、与金属反应	164
第四节 重要的卤代烃	164
一、三氯甲烷	164
二、四氯化碳	165
三、氯乙烯及聚氯乙烯	165
本章小结	165
习题	165
知识拓展 卤代有机化合物和环境	166

第十四章 醇、酚、醚	167	第十七章 旋光异构	205
第一节 醇	167	第一节 物质的旋光性	205
一、醇的分类和命名	167	一、偏振光和旋光性	205
二、醇的物理性质	168	二、旋光度和比旋光度	206
三、醇的化学性质	169	第二节 旋光性和分子结构的关系	207
四、重要的醇	171	一、手性和手性分子	207
第二节 酚	172	二、对称因素与手性碳原子	207
一、酚的命名	172	第三节 含手性碳原子化合物的旋光异构	208
二、酚的物理性质	172	一、含一个手性碳原子化合物的旋光异构	208
三、酚的化学性质	172	二、旋光异构构型的确定和表示方法	209
四、重要的酚	174	* 三、含两个手性碳原子化合物的旋光异构	211
第三节 醚	175	四、旋光异构体的性质和生理功能	212
一、醚的命名	175	本章小结	212
二、醚的物理性质	176	习题	212
三、醚的化学性质	176	知识拓展 旋光异构现象与路易·巴斯德	213
本章小结	176	第十八章 含氮和含磷有机化合物	214
习题	177	第一节 胺	214
知识拓展 呼吸分析检测器	178	一、胺的分类和命名	214
第十五章 醛、酮和醌	179	二、胺的物理性质	215
第一节 醛、酮	179	三、胺的化学性质	215
一、醛、酮的分类和命名	179	四、重要的胺	217
二、醛、酮的物理性质	180	第二节 酰胺	218
三、醛、酮的化学性质	181	一、酰胺的结构和命名	218
四、重要的醛和酮	186	二、酰胺的物理性质	218
* 第二节 醌	186	三、酰胺的化学性质	218
一、醌的结构和命名	186	四、碳酸的衍生物	219
二、醌的物理性质	187	第三节 含磷有机化合物	220
三、醌的化学性质	187	一、含磷有机化合物的主要类型	220
四、自然界的醌	188	二、含磷有机农药简介	220
本章小结	188	本章小结	221
习题	189	习题	222
第十六章 羧酸及其衍生物和取代酸	191	知识拓展 N-亚硝基二烷基胺的致癌性	222
第一节 羧酸	191	第十九章 杂环化合物和生物碱	224
一、羧酸的分类和命名	191	第一节 杂环化合物	224
二、羧酸的物理性质	192	一、杂环化合物的分类和命名	224
三、羧酸的化学性质	193	二、杂环化合物的结构	225
四、重要的羧酸	196	三、杂环化合物的化学性质	226
第二节 羧酸衍生物	197	四、重要的杂环化合物及其衍生物	228
一、羧酸衍生物的命名	197	第二节 生物碱	230
二、羧酸衍生物的物理性质	198	一、生物碱概述	230
三、羧酸衍生物的化学性质	198	二、生物碱的一般性质	231
四、重要的羧酸衍生物	199	三、重要的生物碱	231
第三节 取代酸	199	本章小结	233
一、羟基酸	200	习题	234
二、羧基酸	202	知识拓展 烟草的化学成分及吸烟的危害	235
本章小结	203	第二十章 碳水化合物	236
习题	203	第一节 碳水化合物概述	236
知识拓展 草酸的毒性	204		

第二节 单糖	237	第二节 类脂	254
一、单糖的结构及构型	237	一、磷脂	254
二、单糖的性质	239	二、蜡	255
三、重要的单糖	242	第三节 乳化作用与表面活性剂	255
第三节 二糖	243	一、肥皂的组成及乳化作用	255
一、还原性二糖	243	二、表面活性剂	256
二、非还原性二糖	244	本章小结	257
第四节 多糖	245	习题	257
一、淀粉	245	第二十二章 氨基酸、蛋白质	259
二、糖原	246	第一节 氨基酸	259
三、纤维素	247	一、氨基酸的结构、分类和命名	259
四、半纤维素	247	二、氨基酸的物理性质	261
五、果胶物质	247	三、氨基酸的化学性质	261
本章小结	248	第二节 蛋白质	263
习题	248	一、蛋白质的元素组成与分类	263
知识拓展 让血库里的血全是 O 型	249	二、蛋白质的结构	264
第二十一章 油脂和类脂化合物	250	三、蛋白质的性质	266
第一节 油脂	250	本章小结	268
一、油脂的存在和用途	250	习题	268
二、油脂的化学组成和结构	251	知识拓展 基因芯片	269
三、油脂的性质	252		

实 验 篇

第一部分 化学实验的基本知识	272	实验四 盐酸标准溶液的配制和标定	307
一、化学实验的一般规则	272	实验五 氢氧化钠标准溶液的配制和标定	309
二、实验室安全和事故的处理	272	实验六 混合碱中 Na_2CO_3 、 NaHCO_3 含量的测定	310
三、实验预习、记录和报告	273	实验七 铵盐中含氮量的测定	311
第二部分 常用实验仪器介绍	274	实验八 生理盐水中氯化钠含量的测定	313
第三部分 化学实验基本操作	280	实验九 高锰酸钾溶液浓度的标定	314
一、玻璃仪器的洗涤干燥	280	实验十 土壤腐殖质含量的测定	315
二、试剂的取用规则	281	实验十一 双氧水中过氧化氢含量的测定	317
三、滴定分析操作技术	282	实验十二 水的硬度的测定	317
四、结晶技术	284	实验十三 邻二氮菲分光光度法测定铁含量	319
五、固液分离技术	285	实验十四 土壤中全磷的测定	320
六、有机化学实验基本操作	288	实验十五 乙酸乙酯的制备技术	322
第四部分 基础化学常用仪器的使用	293	实验十六 乙酰水杨酸的制备技术	323
一、天平	293	实验十七 乙酰苯胺的制备技术	324
二、分光光度计	297	实验十八 茶叶中咖啡因的提取	326
第五部分 学生实验	300	实验十九 50%乙醇分馏技术	327
实验一 玻璃仪器的加工和塞子钻孔	300		
实验二 化学反应速率和化学平衡	304		
实验三 电解质溶液	306		
附录	329		
一、一些重要的物理常数	329	五、配离子的标准稳定常数 (298K)	330
二、一些弱电解质的解离常数	329	参考文献	332
三、常用缓冲溶液的 pH 范围	329	元素周期表	
四、难溶电解质的溶度积常数 (298K)	329		

无机化学是研究物质的组成、性质、变化规律以及制备方法的科学。它是化学的一个重要分支，与物理化学、有机化学、生物化学等学科密切相关。无机化学的研究对象包括元素及其化合物，以及它们的反应和性质。无机化学在材料科学、能源、环境、医药等领域有着广泛的应用。

无机及分析化学篇

第一章 绪论

无机化学是化学的一个重要分支，研究物质的组成、性质、变化规律以及制备方法的科学。它是化学的基础，与物理化学、有机化学、生物化学等学科密切相关。无机化学的研究对象包括元素及其化合物，以及它们的反应和性质。无机化学在材料科学、能源、环境、医药等领域有着广泛的应用。

第一节 绪论

无机化学是化学的一个重要分支，研究物质的组成、性质、变化规律以及制备方法的科学。它是化学的基础，与物理化学、有机化学、生物化学等学科密切相关。无机化学的研究对象包括元素及其化合物，以及它们的反应和性质。无机化学在材料科学、能源、环境、医药等领域有着广泛的应用。

第二节 无机化学的发展历史

无机化学的发展历史可以追溯到古代。早在公元前，人们就已经开始使用各种无机物质。随着科学的发展，无机化学逐渐成为一个独立的学科。在19世纪，无机化学取得了长足的进步。20世纪以来，无机化学的研究领域不断拓宽，新的无机化合物不断被发现。无机化学在材料科学、能源、环境、医药等领域有着广泛的应用。

第一章 溶液和胶体

溶液和胶体是物质在自然界存在的两种形式，它们与日常生活和生产实践有着密切的联系。人体内的血液、胃液、尿液及淋巴液等都是溶液，生命过程所需的氧的输送和代谢产物二氧化碳的排出都是以各种形式在溶液中进行的。在工农业生产中，农药的使用、无土栽培技术的应用、组织培养液的配制、土壤的改良、工业废水的净化处理等都离不开溶液与胶体的知识。

教学目标

1. 掌握溶液组成的表示方法及有关计算。
2. 掌握稀溶液的依数性。
3. 了解分散系的概念及分类。
4. 掌握胶体有关性质及结构。

第一节 溶 液

溶液与农业生产和生命现象有着密切的联系。例如，农药常常是配制成不同浓度的溶液再加以施用。动植物所摄取的养料也常常是形成溶液后才能被吸收。掌握溶液的有关物理、化学性质是十分必要的。

一、溶液的一般概念

一种或多种物质以分子、原子或离子状态分散于另一种液体物质中所构成的均匀而又稳定的混合物叫溶液。溶液中被溶解的物质称为溶质，溶解溶质的物质称为溶剂。水是最常见的溶剂，以水为溶剂的溶液称为水溶液，简称溶液。乙醇、汽油、苯、四氯化碳等作为溶剂可溶解有机物，所得的溶液称非水溶液。

液态溶液按组成溶液的溶质与溶剂的状态可分为三种类型：①气态物质与液态物质形成的溶液，如氨气、氯化氢气体溶于水所形成的溶液；②固态物质与液态物质形成的溶液，如蔗糖溶于水、食盐溶于水所形成的溶液；③液态物质与液态物质形成的溶液，如乙醇溶于水、醋酸溶于水所形成的溶液。

二、溶液组成的若干表示方法

化学反应很多是在溶液中进行的，如果研究这类反应中各物质的数量关系时，就应该知道溶液中溶质的含量。比如，在给果树或农作物喷施农药时，就必须使药液中含有适量的药剂，如果药液过稀，就达不到灭菌或杀虫的效果；药液过浓，则会使果树或农作物受害。因此，必须掌握好溶液组成的知识，才能更好地为农牧业生产、科学研究等服务。

对于溶液的组成，可用不同的方法表示。主要有以下几种。

1. 质量分数

溶液中溶质 B 的质量 $m(B)$ 与溶液质量 (m) 之比称为溶质 B 的质量分数, 符号为 $w(B)$, 其数学表达式为

$$w(B) = \frac{m(B)}{m}$$

质量分数也可以用“百分数”表示, 即

$$w(B) = \frac{m(B)}{m} \times 100\%$$

例如, $w(\text{HCl}) = 0.37$, 是指 HCl 的质量分数为 0.37, 即 $w(\text{HCl}) = 37\%$ 。市售浓酸、浓碱大多用这种方法表示。

2. 体积分数

在相同的温度和压力下, 混合前溶质 B 的体积 $V(B)$ 与溶液的体积 (V) 之比称为 B 的体积分数, 适用于溶质 B 为液体的溶液, 符号为 $\varphi(B)$, 表达式为

$$\varphi(B) = \frac{V(B)}{V}$$

当两种液体相混合成溶液时, 如果不考虑体积变化, 某一组分的浓度也可用体积分数表示。用体积分数表示溶液浓度, 使用方便, 可用于简单配制所需溶液。例如, 将原装液体试剂稀释时, 多采用这种方法表示, 如需消毒用的酒精 $\varphi(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 0.75$, 也可写成 $\varphi(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 75\%$, 可量取无水乙醇 75mL, 加水稀释至 100mL 即可。

3. 质量浓度

溶质 B 的质量与溶液体积 (V) 之比, 称为溶质 B 的质量浓度。符号用 $\rho(B)$ 表示, 单位为 $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$, 但常用单位是 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

$$\rho(B) = \frac{m(B)}{V}$$

例如, 将 10g NaOH 溶于水配成 1L 溶液, 该溶液 NaOH 的质量浓度是 $10\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

4. 物质的量浓度

以单位体积溶液中含有溶质 B 的物质的量表示的溶液浓度称为溶质 B 的物质的量浓度。符号用 $c(B)$ 表示, 单位是 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 或 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

$$c(B) = \frac{n(B)}{V}$$

$$n(B) = \frac{m(B)}{M(B)}$$

式中 $n(B)$ ——溶质 B 的物质的量, mol;

$m(B)$ ——溶质 B 的质量, g;

$M(B)$ ——溶质 B 的摩尔质量, $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

例如, 1L 溶液中含有 1mol NaCl, NaCl 的物质的量浓度就是 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。再如, 把 8g NaOH 溶解在适量的水中配成 100mL 溶液, 该溶液的物质的量浓度就是 $2\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

5. 质量摩尔浓度

溶液中溶质 B 的物质的量 $n(B)$ 与溶剂 A 的质量 $m(A)$ 之比称为溶质 B 的质量摩尔浓度。符号用 $b(B)$ 表示, 单位是 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 或 $\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

$$b(B) = \frac{n(B)}{m(A)}$$

式中 $n(B)$ ——溶质 B 的物质的量, mol;

$m(A)$ ——溶剂的质量, kg。

由于物质的质量不受温度的影响, 所以溶液的质量摩尔浓度是一个与温度无关的物理量。因此, 它通常被用于稀溶液依数性的研究和一些精密的测定中。在浓度很稀的水溶液中, 质量摩尔浓度在数值上近似等于物质的量浓度。

6. 摩尔分数

溶质 B 的物质的量 $n(B)$ 与全部溶质和溶剂的物质的量 $n(B)+n(A)$ 的总和之比称为该溶质 B 的摩尔分数。

$$\text{溶质 B 的摩尔分数} \quad x(B) = \frac{n(B)}{n(A)+n(B)}$$

$$\text{溶剂 A 的摩尔分数} \quad x(A) = \frac{n(A)}{n(A)+n(B)}$$

溶质和溶剂的摩尔分数之和应为 1, 即 $x(A)+x(B)=1$ 。

三、溶液组成之间的相互换算

表示溶液组成的方法很多, 根据不同需要, 可采用不同的方法表示。在实际应用过程中, 常常需要将一种浓度转换成另一种浓度的表示形式。

1. 物质的量浓度与质量分数的关系

如果已知某溶液的密度 ρ 和该溶液中溶质的质量分数 $w(B)$, 那么该溶液中溶质的物质的量浓度 $c(B)$ 可表示为:

$$c(B) = \frac{n(B)}{V} = \frac{m(B)}{M(B)V} = \frac{m(B)}{M(B) \times m/\rho} = \frac{\rho \times m(B)/m}{M(B)} = \frac{w(B)\rho}{M(B)}$$

其中, $V=m/\rho$, $w(B)=m(B)/m$ 。

上式中, $c(B)$ 的单位为 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; ρ 的单位为 $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$; $M(B)$ 的单位为 $\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

【例 1-1】 已知某市售浓硫酸的密度为 $1.84 \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$, 硫酸的质量分数为 98.0%, 试计算该市售浓硫酸中 $c(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 是多少?

解 已知 $w(\text{H}_2\text{SO}_4)=98\%$ $\rho(\text{H}_2\text{SO}_4)=1.84 \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}=1.84 \text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$

$$M(\text{H}_2\text{SO}_4)=98.0 \times 10^{-3} \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$$

根据公式

$$c(B) = \frac{w(B)\rho}{M(B)}$$

$$\text{则有: } c(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{w(\text{H}_2\text{SO}_4)\rho(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{98.0\% \times 1.84 \text{kg} \cdot \text{L}^{-1}}{98.0 \times 10^{-3} \text{kg} \cdot \text{L}^{-1}} = 18.4 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

答: 该市售浓硫酸中 $c(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 是 $18.4 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

2. 物质的量浓度与质量浓度的关系

$$\rho(B) = \frac{m(B)}{V} = \frac{n(B)M(B)}{V} = c(B)M(B)$$

3. 物质的量浓度与质量摩尔浓度的关系

根据公式

$$c(B) = \frac{n(B)}{V} = \frac{n(B)}{m/\rho} = \frac{n(B)\rho}{m}$$

假设某溶液是由两种组分组成的, 且 B 组分的含量较少时, 则 $m \approx m_A$, 上式可近似成为

$$c(B) = \frac{n(B)\rho}{m} \approx \frac{n(B)\rho}{m(A)} = b(B)\rho$$

假设该溶液是一很稀的水溶液时, 其密度可近似等于 1, 即 $\rho=1 \text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$, 则

$$c(B) \approx b(B)$$

对于上述两个公式来说, 是在溶液浓度较小的时候才能成立, 对于浓度较大的溶液来说, 使用上述两个公式会产生较大的误差。

【例 1-2】 某实验需要 500mL $0.2\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 H_2SO_4 溶液, 如果要配制此浓度的硫酸, 需要【例 1-1】题中市售的浓硫酸多少毫升?

解 溶液在稀释过程中, 虽然溶液的体积发生了变化, 但溶液中溶质的物质的量不变。即在溶液稀释前后, 溶液中溶质的物质的量是相等的。

$$c_1 V_1 = c_2 V_2$$

$$\text{已知 } c_1 = c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.2\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \quad V_1 = V(\text{H}_2\text{SO}_4) = 500\text{mL} = 0.5\text{L}$$

$$c_2 = c(\text{浓 H}_2\text{SO}_4) = 18.4\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$\text{根据公式 } c_1 V_1 = c_2 V_2$$

$$\text{则 } V_2 = \frac{c_1 V_1}{c_2} = \frac{0.2\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 0.5\text{L}}{18.4\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}} = 0.0054\text{L} = 5.4\text{mL}$$

答: 配制 500mL $0.2\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 H_2SO_4 溶液, 需用市售的浓硫酸 5.4mL。



【问题 1-1】 某一实验需要 500mL $0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ H_2SO_4 溶液和 500mL $0.2\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaOH 溶液, 该如何进行配制?

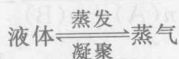
第二节 稀溶液的依数性

在日常生活中经常会遇到一些问题, 例如: 为什么冰盐混合物的凝固点比水的要低; 为什么葡萄糖液的沸点比水的沸点高; 为什么海鱼不能生活在淡水里等这些问题都与溶液的依数性有关。研究发现在挥发性溶剂中加入难挥发性溶质后, 它们所表现的一类性质是相同的, 这类性质只与溶液的组成有关, 而与溶质的本性无关。包括稀溶液的蒸气压下降、凝固点降低、沸点升高和产生渗透压等, 这类性质称为稀溶液依数性。讨论溶液的依数性, 必须具备以下条件: 第一, 溶质为非电解质, 而且该溶质必须是难挥发性的物质, 如蔗糖 ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$)、尿素 [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$] 等。第二, 溶液必须是稀溶液, 不考虑粒子间相互作用。倘若是浓溶液, 则溶质粒子间相互作用较大, 此时溶质粒子间的相互作用就不能忽略。

一、溶液的蒸气压下降

在一定温度下, 含不挥发溶质的溶液, 其溶剂在液体表面发生的汽化现象称为蒸发。液体如处于一敞开容器中, 液态分子不断吸收周围的热量, 使蒸发过程不断进行, 液体将逐渐减少, 温度愈高, 蒸发愈快。若将液体置于密闭容器中, 情况就不同了。一方面, 液体分子进行蒸发变成气态分子; 另一方面, 一些气态分子撞击液体表面会重新返回液体, 这个与液体蒸发现象相反的过程称为凝聚。在相同条件下, 各种液体蒸发的速率不同。例如乙醇比水快, 海水比淡水慢。

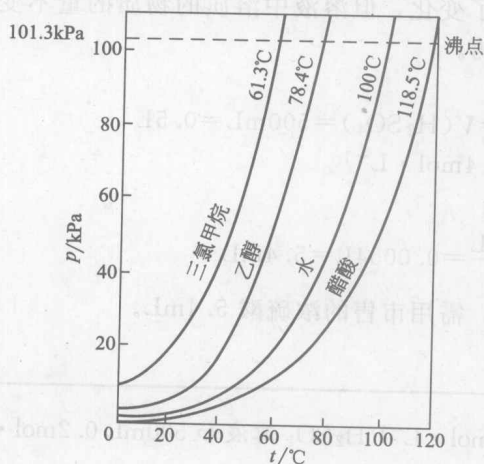
如果在单位时间内, 脱离液面变成气体的分子数等于返回液面变成液体的分子数, 形成了蒸发与凝聚的动态平衡。



在恒定温度下, 与液体平衡的蒸气称为饱和蒸气, 饱和蒸气的压力就是该温度下的饱和蒸气压, 简称蒸气压。如果液体是水, 称为水的蒸气压, 例如, 在 20°C 时, 水的蒸气压是 2.33kPa ; 乙醇的蒸气压是 5.9kPa 。液体的蒸气压随温度的升高而增大。如图 1-1 几种液体

物质的蒸气压与温度的关系。

水的蒸气压与温度有关, 温度越高, 水的蒸气压也越高 (见表 1-1)。如果在水中加入



一些难挥发非电解质的溶质时, 就会降低单位体积内水分子的数目。那么, 在单位时间内逸出液面的水分子数目就会相应减少, 因此溶液在较低的蒸气压下建立平衡, 所以, 达到平衡时溶液的蒸气压就要比纯溶剂的饱和蒸气压低。

1887 年法国物理学家拉乌尔 (F. M. Raoult) 通过大量的实验得出一条关于溶剂蒸气压的规律。指出: 在一定温度下, 难挥发非电解质稀溶液的蒸气压等于纯溶剂的蒸气压乘以溶剂在溶液中的摩尔分数。其表达式为:

$$p = p^* x_A$$

式中 p ——溶液的蒸气压, Pa;

p^* ——纯溶剂的蒸气压, Pa;

$x(A)$ ——溶剂的摩尔分数。

图 1-1 液体物质的蒸气压与温度的关系示意图

表 1-1 水在不同温度下的饱和蒸气压

温度/°C	蒸气压/kPa	温度/°C	蒸气压/kPa	温度/°C	蒸气压/kPa
0	0.61	35	5.63	75	38.54
1	0.65	40	7.37	80	47.34
5	0.87	45	9.59	85	57.81
10	1.23	50	12.33	90	70.10
15	1.71	55	15.73	95	84.54
20	2.33	60	19.92	100	101.32
25	3.17	65	25.00	101	105.00
30	4.24	70	31.16	120	198.50

如果某溶液是由两个组分组成的, 有 $x(A) + x(B) = 1$, 即 $x(A) = 1 - x(B)$, 所以

$$p = p^* x(A) = p^* [1 - x(B)] = p^* - p^* x(B)$$

$$p^* - p = p^* x(B)$$

$$\Delta p = p^* x(B)$$

式中 Δp ——稀溶液蒸气压的降低值, Pa;

$x(B)$ ——溶质的摩尔分数。

上述公式可表明, 在一定温度下, 难挥发非电解质稀溶液的蒸气压下降与溶质的摩尔分数成正比, 通常称为拉乌尔定律。

拉乌尔定律表达式也可用质量摩尔浓度来表示。溶质和溶剂的物质的量分别为 $n(B)$ 和 $n(A)$, 在稀溶液中, $n(A)$ 的数值一定比 $n(B)$ 大得多, 因此

$$x(B) = \frac{n(B)}{n(A) + n(B)} \approx \frac{n(B)}{n(A)}$$

$$\Delta p = p^* x(B) \approx p^* \times \frac{n(B)}{n(A)}$$

若溶剂为水, 溶解在 1kg 水 (1kg 水相当 $1000\text{g}/18.0\text{g} \cdot \text{mol}^{-1} = 55.6\text{mol}$) 中的溶质的物质的量 $n(B)$ 就与该溶液质量摩尔浓度 $b(B)$ 数值相等, 则

$$\Delta p = p^* x(\text{B}) \approx p^* \times \frac{n(\text{B})}{n(\text{A})} \approx p^* \times \frac{b}{55.6 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}} \approx Kb$$

式中 K ——比例常数, 称为蒸气压下降常数。

因此, 拉乌尔定律也可表述为: 在一定温度下难挥发非电解质稀溶液的蒸气压下降与溶液的质量摩尔浓度 b 成正比。

【例 1-3】 已知 20°C 时水的蒸气压为 2.33kPa , 现将 17.1g 蔗糖 ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) 溶于 100g 水。求该溶液的蒸气压是多少?

解 蔗糖的摩尔质量 $M(\text{蔗糖}) = 342\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

溶质蔗糖的物质的量 $n(\text{蔗糖}) = m(\text{蔗糖})/M(\text{蔗糖}) = 17.1\text{g}/342\text{g} \cdot \text{mol}^{-1} = 0.05\text{mol}$

溶剂水的摩尔质量 $M(\text{水}) = 18\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

溶剂水的物质的量 $n(\text{水}) = m(\text{水})/M(\text{水}) = 100\text{g}/18\text{g} \cdot \text{mol}^{-1} \approx 5.56\text{mol}$

溶剂水的摩尔分数 $x(\text{水}) = \frac{n(\text{水})}{n(\text{水}) + n(\text{蔗糖})} = \frac{5.56\text{mol}}{5.56\text{mol} + 0.05\text{mol}} = 0.991$

根据公式 $p = p^* x(\text{水}) = 2.33\text{kPa} \times 0.991 = 2.31\text{kPa}$

答: 该溶液的蒸气压为 2.31kPa 。

【例 1-4】 已知在 20°C 时, 苯的蒸气压为 9.99kPa , 现将 1.02g 苯甲酸乙酯 ($\text{C}_6\text{H}_5\text{COOC}_2\text{H}_5$) 溶于 10.0g 苯中, 经测得溶液蒸气压为 9.49kPa 。试求苯甲酸乙酯的摩尔质量是多少?

解 设苯甲酸乙酯的摩尔质量为 $M(\text{苯甲酸乙酯})$, 根据公式 $\Delta p = p^* x(\text{B})$ 得

$$p(\text{苯}) - p(\text{苯甲酸乙酯}) = p(\text{苯})x(\text{苯甲酸乙酯})$$

$$9.99\text{kPa} - 9.49\text{kPa} = x(\text{苯甲酸乙酯}) \times 9.99\text{kPa}$$

$$x(\text{苯甲酸乙酯}) = \frac{9.99\text{kPa} - 9.49\text{kPa}}{9.99\text{kPa}} = 0.05$$

苯的摩尔质量 $M(\text{苯}) = 78.0\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$10.0\text{g} \text{ 苯的物质的量 } n(\text{苯}) = \frac{10.0\text{g}}{78.0\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.128\text{mol}$$

$$x(\text{苯甲酸乙酯}) = \frac{n(\text{苯甲酸乙酯})}{n(\text{苯甲酸乙酯}) + n(\text{苯})}$$

$$n(\text{苯甲酸乙酯}) = \frac{n(\text{苯})x(\text{苯甲酸乙酯})}{1 - x(\text{苯甲酸乙酯})} = \frac{0.128 \times 0.05}{1 - 0.05} = 0.00674\text{mol}$$

$$M(\text{苯甲酸乙酯}) = \frac{m(\text{苯甲酸乙酯})}{n(\text{苯甲酸乙酯})} = \frac{1.02\text{g}}{0.00674\text{mol}} \approx 151.3\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

答: 苯甲酸乙酯的摩尔质量是 $151.3\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

实际上 $M(\text{苯甲酸乙酯})$ 为 $150\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, 与实验数值基本相符。

二、渗透压

当你办公室里的花草或农民田地里的作物缺水时, 它们的茎叶会发蔫, 如果给它们浇上水, 不久会发现这些植物的茎叶挺立起来。这是由于水渗入植物细胞内的结果。

现在做这样一个实验, 用半透膜 (如动物的膀胱、人造羊皮纸等) 把蔗糖溶液和纯水分隔开, 按如图 1-2 的装置, 放置一段时间后, 会发现蔗糖水溶液的液面升高, 像这种溶剂分子通过半透膜进入溶液的现象, 称为渗透现象。这是由于在单位体积内, 纯水比蔗糖溶液中的水分子数目多, 在单位时间内, 进入蔗糖溶液的水分子数目比离开的水分子数目多些, 结果使蔗糖溶液的液面升高。

当蔗糖液面高度不再发生变化时, 即单位时间内水分子从纯水进入蔗糖溶液的数目与从