



获中国石油和化学工业优秀教材一等奖
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
(高职高专教材)



北京高等教育精品教材

BEIJING GAODENG JIAOYU JINGPIN JIAOCAI

基础化学

第二版

赵玉娥 王传胜 徐雅君 编



化学工业出版社



获中国石油和化学工业优秀教材一等奖
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
(高职高专教材)



北京高等教育精品教材
BEIJING GAODENG JIAOYU JINGPIN JIAOCAI

基础化学

第二版

赵玉娥 王传胜 徐雅君 编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书自 2004 年第一版出版以来,受到多所高等职业教育学院和多所本科院校高职高专相关专业的普遍欢迎。本书第二版仍根据高等职业教育培养目标,从培养应用型技术人才的目的出发,本着“必需和够用”的原则,注重基础,加强应用性,在基本概念、基本理论、基本知识够用的前提下,突出理论和实践的结合。

本书第二版基本框架仍保留第一版的基本内容,包括:化学基本概念,物质结构基础,元素周期律,化学热力学基础,化学反应速率和化学平衡,酸碱平衡与酸碱滴定法,沉淀-溶解平衡与沉淀滴定法,氧化还原平衡与氧化还原滴定法,配位平衡与配位滴定法,脂肪烃,环烃,卤代烃,含氧有机化合物,含氮有机化合物,杂环化合物,糖类、脂类、蛋白质和核酸,共 17 章内容。

本书为高职高专制药工程、生物工程和化工工艺专业使用教材,也可供高职高专其他专业开设基础化学课选用。

图书在版编目(CIP)数据

基础化学/赵玉娥,王传胜,徐雅君编.—2 版.—北京:
化学工业出版社,2009.7

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
(高职高专教材)

北京高等教育精品教材
ISBN 978-7-122-05694-8

I. 基… II. ①赵…②王…③徐… III. 化学-高等学校-
教材 IV. O6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 077918 号

责任编辑:于 卉
责任校对:战河红

文字编辑:刘志茹
装帧设计:韩 飞

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 装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 17 $\frac{3}{4}$ 字数 471 千字 2009 年 8 月北京第 2 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:36.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本书在第一版编写之际，正逢我国高等职业教育的迅猛发展，因此，2004年本书一出版，即受到了欢迎，为多所高等职业教育学院的化学工程与工艺、制药工程、生物技术、环境工程等专业用为教材，一些本科院校的高职高专的相关专业也使用本书作为教材。在近5年的使用中，许多用书院校的师生对本教材给出了较高的评价，认为《基础化学》涵盖了传统的四大化学及生物化学的基本内容，较好地实现了化学基础课程中相邻知识系列和相近学科知识的整合，具有较宽的知识面和适应性，有效地避免了以往教材体系中某些基础知识点多重复的弊端，是一部优秀的高等职业教育的基础化学教材。有关专家也对本书做出了肯定，本书于2007年1月获第八届中国石油和化学工业优秀教材奖一等奖。于2007年3月被北京市教育委员会评为“2006年北京高等教育精品教材”，同年《基础化学》第二版被列选为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

在本书出版之后的5年里，我国的高等职业教育的形势又发生了很大变化，使我们感到，原有的一些特色和创新现在已显落后，迫切需要对第一版进行修订；而且由于编者的水平，第一版中出现了一些疏漏和欠妥之处，也需要再版纠正。考虑到近5年中出版了一些基础化学实验教材，因此在本书中删去了基础化学实验部分，同时考虑到各个学校基础化学教学学时等具体情况，删去了分光光度法和对映异构体两章，对其他章节的内容也作一些适当的增减和调整。

本书再版修订由赵玉娥主要负责，参加编写的人有：赵玉娥（第1、2、4、8、10、11、17章）；王传胜（第3、5、6、7、9章）；徐雅君（第12、13、14、15、16章）。本书承蒙南开大学教授郑文君博士主审，他对本书提出了宝贵意见，并指出了不足之处，编者在此表示衷心感谢！

本书电子资源含电子课件、习题解答等内容，可免费提供给采用本书作为教材的教师使用，如需要请联系：cipedu@163.com。

最后，对关心和使用本书的专家与师生致以最真诚的谢意。

编 者
2009年3月

第一版前言

高等学校的教材建设是高等学校教学工作的重要组成部分。随着高等职业教育的迅猛发展,迫切需要与之相适应的、面向 21 世纪的教材和教学参考书。编者遵照全国高职高专化工类教材的基本要求,根据高职高专教育与培养技术应用型人才的目标和高职高专院校的特点编写了这本教材。本书既可作为高职院校化学化工类各专业的教材,也可作为专科层次相关专业的教材和参考书。

本书共分 23 章和 16 个实验。教材内容以“必需和够用”为原则,注重基本概念和基本知识的阐述,并力求做到循序渐进、由浅入深,理论和实际结合,加强实用性,把知识的传授和培养学生分析问题及解决问题的能力结合起来,将本书编写成具有高职高专教育特色的教材。

本书由赵玉娥(北京联合大学生物化学工程学院)主编,并编写第 1 章、第 9 章、第 11 章和第 12 章;黄小崑(北京联合大学生物化学工程学院)编写第 2 章和第 3 章;王桥(首都医科大学)编写第 4 章和第 23 章;段天璇(北京中医药大学)编写第 5 章;王传胜(沈阳化工学院)编写第 6 章和第 7 章;贺晓唯(沈阳化工学院)编写第 8 章和第 10 章;李艳华(沈阳工业大学)编写第 13 章;孔祥文(沈阳化工学院)编写第 14 章和第 16 章;彭兆快(北京联合大学生物化学工程学院)编写第 15 章;张枫(首都医科大学)编写第 17 章;林强(北京联合大学生物化学工程学院)编写第 18 章;吴京平(北京联合大学师范学院)编写第 19 章和第 20 章;朱莹(首都医科大学)编写第 21 章和第 22 章。实验部分由赵玉娥、王传胜、孙瑞岩(长春中医学院)和宋学英(首都医科大学)共同编写。本书承蒙南开大学教授郑文君博士主审,他对本书提出了宝贵意见,编者在此表示衷心感谢。

高职高专教育正处于蓬勃发展阶段,本教材在高职高专教育特色方面做了尝试,但教学内容和体系改革是一个长期的、复杂的、需要反复探索和实践的系统工程,限于编者的水平,疏漏之处在所难免,衷心希望专家和使用本书的师生予以匡正,对此谨致以最真诚的谢意。

编 者
2003 年 8 月

目 录

绪 论	1
第 1 章 气体、溶液和胶体	3
1.1 气体	3
1.1.1 理想气体状态方程式	3
1.1.2 气体分压定律	4
1.2 分散体系	5
1.3 溶液浓度的表示方法	5
1.4 分配定律	7
1.4.1 相似相溶原理	7
1.4.2 分配定律	7
1.5 稀溶液的依数性	8
1.5.1 蒸气压下降	8
1.5.2 沸点升高	9
1.5.3 凝固点下降	9
1.5.4 溶液的渗透压	10
1.6 胶体溶液	11
1.6.1 胶体溶液的分类	11
1.6.2 溶胶的性质	12
1.6.3 胶团的结构	13
1.6.4 溶胶的聚沉	13
1.7 高分子溶液	13
习题	14
第 2 章 化学热力学基础	15
2.1 化学热力学的基本概念	15
2.1.1 系统和环境	15
2.1.2 系统的性质	15
2.1.3 状态和状态函数	15
2.1.4 过程和途径	16
2.1.5 热和功	16
2.2 热力学第一定律	16
2.2.1 热力学能	16
2.2.2 热力学第一定律	16
2.3 热化学	17
2.3.1 化学反应热效应和焓	17
2.3.2 盖斯定律	18
2.3.3 标准摩尔生成焓	19
2.3.4 标准摩尔燃烧热	19
2.4 化学反应的方向	20
2.4.1 自发过程	20
2.4.2 熵和熵变	20
2.5 吉布斯自由能与化学反应方向	21
2.5.1 吉布斯自由能的定义	21
2.5.2 标准摩尔生成吉布斯自由能	22
2.5.3 化学反应方向——吉布斯自由能 判据	22
2.5.4 $\Delta_r G_m$ 与温度的关系	23
习题	23
第 3 章 化学反应速率和化学平衡	25
3.1 化学反应速率	25
3.1.1 化学反应速率的表示法	25
3.1.2 化学反应速率理论	26
3.1.3 影响化学反应速率的因素	27
3.2 化学平衡	29
3.2.1 化学平衡	29
3.2.2 平衡常数	30
3.2.3 多重平衡规则	31
3.2.4 化学平衡计算	31
3.2.5 影响化学平衡的因素	32
习题	35
第 4 章 化学分析	37
4.1 化学分析概述	37
4.1.1 分析方法的分类	37

4.1.2 定量分析的一般过程	38	4.4 有效数字及其运算规则	43
4.2 定量分析中的误差	39	4.4.1 有效数字	43
4.2.1 误差的分类	39	4.4.2 有效数字的修约	44
4.2.2 误差和偏差的表示方法	40	4.4.3 有效数字的运算	44
4.2.3 可疑数据的取舍	41	4.5 滴定分析法	44
4.3 提高分析结果准确度的方法	42	4.5.1 滴定分析法概述	44
4.3.1 选择合适的分析方法	42	4.5.2 滴定分析法对化学反应的要求	45
4.3.2 检验和消除系统误差	42	4.5.3 基准物质和标准溶液	46
4.3.3 减小测量的相对误差	43	4.5.4 滴定分析中的计算	47
4.3.4 增加平行测定次数, 减小偶然 误差的影响	43	习题	48
第5章 酸碱平衡与酸碱滴定法	49		
5.1 酸碱理论	49	5.2.6 酸碱两性物质溶液 pH 值的 计算	54
5.1.1 酸碱质子理论	49	5.2.7 同离子效应与盐效应	54
5.1.2 水的离子自递反应和溶液的 酸碱性	50	5.3 缓冲溶液	55
5.2 酸碱平衡中有关组分浓度的计算	51	5.3.1 缓冲溶液及缓冲作用原理	55
5.2.1 强酸(碱)溶液 pH 值的计算	51	5.3.2 缓冲溶液 pH 值的计算	56
5.2.2 弱酸弱碱的离解常数	51	5.4 酸碱滴定法	57
5.2.3 离解度和稀释定律	52	5.4.1 酸碱指示剂及指示剂的变色原理	57
5.2.4 一元弱酸(碱)溶液 pH 值的 计算	52	5.4.2 酸碱滴定曲线与指示剂的选择 原则	58
5.2.5 多元酸碱溶液 pH 值的计算	53	习题	63
第6章 沉淀-溶解平衡与沉淀滴定法	65		
6.1 沉淀-溶解平衡	65	6.3.3 沉淀的溶解	68
6.2 溶度积及其应用	65	6.4 分步沉淀和沉淀转化	69
6.2.1 溶度积常数	65	6.4.1 分步沉淀	69
6.2.2 溶度积和溶解度的相互换算	65	6.4.2 沉淀转化	70
6.2.3 溶度积规则	66	6.5 沉淀滴定法	71
6.3 沉淀-溶解平衡的移动	67	6.5.1 莫尔(Mohr)法	71
6.3.1 沉淀的生成	67	6.5.2 佛尔哈德(Volhard)法	71
6.3.2 影响沉淀反应的因素	67	习题	72
第7章 氧化还原平衡与氧化还原滴定法	74		
7.1 氧化还原的基本概念	74	7.4.2 计算原电池的电动势	80
7.1.1 氧化值(氧化数)	74	7.4.3 判断氧化还原反应方向	81
7.1.2 氧化与还原	74	7.4.4 确定氧化还原反应进行的程度	82
7.2 氧化还原反应方程式的配平	75	7.4.5 元素电势图及其应用	83
7.3 电极电势	75	7.5 氧化还原滴定法	84
7.3.1 原电池	75	7.5.1 氧化还原滴定曲线	84
7.3.2 电极电势	77	7.5.2 氧化还原滴定法的指示剂	85
7.3.3 影响电极电势的因素	78	7.5.3 常用的氧化还原滴定法	85
7.4 电极电势的应用	80	习题	88
7.4.1 比较氧化剂或还原剂的相对强弱	80		

第 8 章 物质结构基础	90
8.1 原子结构和元素周期律	90
8.1.1 原子核外电子的运动特征	90
8.1.2 原子核外电子的排布	93
8.1.3 元素周期表	95
8.1.4 元素基本性质的周期性	97
8.2 化学键理论概述	100
8.2.1 离子键	101
8.2.2 共价键理论	101
8.2.3 杂化轨道理论	104
8.2.4 分子间作用力	106
习题	109
第 9 章 配位平衡与配位滴定法	112
9.1 配位化合物的组成和命名	112
9.1.1 配位化合物的组成	112
9.1.2 配位化合物的命名	113
9.1.3 螯合物	113
9.2 配位化合物的价键理论	114
9.2.1 价键理论的要点	114
9.2.2 配合物的几何构型	114
9.2.3 内轨配合物与外轨配合物	116
9.2.4 配位化合物的磁性	116
9.3 配位平衡	117
9.3.1 配离子的离解	117
9.3.2 配离子的离解常数	117
9.3.3 配离子稳定常数的应用	118
9.4 配位滴定法	120
9.4.1 乙二胺四乙酸的离解平衡	121
9.4.2 EDTA 与金属离子的配合物	121
9.4.3 配位滴定曲线	124
9.4.4 金属指示剂	125
9.4.5 配位滴定的方式和应用	126
习题	127
第 10 章 有机化合物概述	129
10.1 有机化合物的概念	129
10.2 有机化合物的结构	129
10.3 有机化学反应中的酸和碱	130
10.4 有机化合物的一般特点	130
10.5 有机反应的基本类型	131
10.5.1 化学键断裂方式	131
10.5.2 有机反应的类型	131
10.6 有机化合物的分类	131
10.6.1 按基本骨架特征分类	132
10.6.2 按官能团(或特征结构)不同分类	132
习题	133
第 11 章 脂肪烃	134
11.1 烷烃	134
11.1.1 烷烃的通式和同系列	134
11.1.2 烷烃的结构	134
11.1.3 烷烃的异构现象	135
11.1.4 烷烃的命名	136
11.1.5 烷烃的物理性质	138
11.1.6 烷烃的化学性质	139
11.1.7 烷烃的天然来源	141
11.2 烯烃	142
11.2.1 烯烃的结构	142
11.2.2 烯烃的异构现象	143
11.2.3 烯烃的命名	143
11.2.4 烯烃的物理性质	145
11.2.5 烯烃的化学性质	146
11.2.6 低级烯烃的工业来源	152
11.3 炔烃	152
11.3.1 乙炔的结构	153
11.3.2 炔烃的构造异构和命名	153
11.3.3 炔烃的物理性质	153
11.3.4 炔烃的化学性质	154
11.4 二烯烃	158
11.4.1 二烯烃的分类和命名	158
11.4.2 1,3-丁二烯的结构	159
11.4.3 共轭体系	159
11.4.4 共轭二烯烃的化学性质	160
习题	161
第 12 章 环烃	165
12.1 脂环烃	165
12.1.1 脂环烃的分类和同分异构	165
12.1.2 脂环烃的命名	165
12.1.3 环烷烃的结构与稳定性	166
12.1.4 脂环烃的物理性质	166
12.1.5 脂环烃的化学性质	167

12.2 芳烃	168	12.2.4 稠环芳烃	176
12.2.1 芳烃的分类和命名	168	12.2.5 芳烃的来源	177
12.2.2 苯的结构	169	习题	178
12.2.3 单环芳烃	170		
第 13 章 卤代烃	180		
13.1 卤代烃的分类及其命名	180	13.4.1 单分子亲核取代反应 机理 (S_N1)	184
13.1.1 卤代烃的分类	180	13.4.2 双分子亲核取代反应 机理 (S_N2)	184
13.1.2 卤代烃的命名	180	13.5 卤代烯烃和卤代芳烃	185
13.2 卤代烃的物理性质	181	13.5.1 分类	185
13.3 卤代烃的化学性质	182	13.5.2 不同类型的卤代烯烃和卤代芳烃 反应活性的差异	186
13.3.1 取代反应	182	习题	186
13.3.2 消除反应	183		
13.3.3 与金属镁反应	183		
13.4 亲核取代反应机理	184		
第 14 章 含氧有机化合物	188		
14.1 醇	188	14.4.1 醛、酮的结构、分类和命名	199
14.1.1 醇的分类和命名	188	14.4.2 醛、酮的物理性质	200
14.1.2 醇的物理性质	189	14.4.3 醛、酮的化学性质	201
14.1.3 醇的化学性质	190	14.5 羧酸	207
14.2 酚	193	14.5.1 羧酸的结构和命名	207
14.2.1 酚的分类和命名	193	14.5.2 羧酸的物理性质	208
14.2.2 苯酚的结构	194	14.5.3 羧酸的化学性质	209
14.2.3 苯酚的物理性质	194	14.5.4 羟基酸	212
14.2.4 酚的化学性质	194	14.6 羧酸衍生物	214
14.3 醚	197	14.6.1 羧酸衍生物的命名	214
14.3.1 醚的分类和命名	197	14.6.2 羧酸衍生物的物理性质	215
14.3.2 醚的物理性质	198	14.6.3 羧酸衍生物的化学性质	215
14.3.3 醚的化学性质	198	习题	218
14.4 醛、酮	199		
第 15 章 含氮有机化合物	221		
15.1 硝基化合物	221	15.3 芳香族重氮和偶氮化合物	228
15.1.1 硝基化合物的分类、结构和 命名	221	15.3.1 重氮化反应	229
15.1.2 硝基化合物的物理性质	222	15.3.2 重氮盐的性质及其在有机合成中 的应用	229
15.1.3 硝基化合物的化学性质	222	15.4 腈	230
15.2 胺	224	15.4.1 腈的命名	230
15.2.1 胺的分类和命名	224	15.4.2 腈的性质	230
15.2.2 胺的物理性质	225	习题	231
15.2.3 胺的化学性质	225		
第 16 章 杂环化合物	233		
16.1 杂环化合物的分类和命名	233	16.2 五元杂环化合物	235
16.1.1 杂环化合物的分类	233	16.2.1 结构与芳香性	235
16.1.2 杂环化合物的命名	233	16.2.2 五元杂环化合物的物理性质	235

16.2.3 五元杂环化合物的化学性质	235	16.3.2 喹啉	238
16.3 六元杂环化合物	237	16.3.3 嘌呤	239
16.3.1 吡啶	237	习题	240
第 17 章 糖类、脂类、蛋白质和核酸	242		
17.1 糖类化合物	242	17.3.1 蛋白质的基本单位—— 氨基酸	255
17.1.1 单糖	242	17.3.2 肽	258
17.1.2 二糖	247	17.3.3 蛋白质	259
17.1.3 多糖	248	17.4 核酸	262
17.2 脂类	250	17.4.1 核酸的组成	262
17.2.1 油脂	250	17.4.2 核酸的结构	264
17.2.2 类脂	252	17.4.3 核酸的性质	265
17.2.3 甾族化合物	253	习题	266
17.3 蛋白质	255		
附录	268		
附表 1 常见的物质的 $\Delta_f H_m^\ominus$ 、 $\Delta_f G_m^\ominus$ 和 $S_m^\ominus$ (298.15K)	268	附表 4 标准电极电势 (298.15K)	271
附表 2 弱酸、弱碱的离解常数	269	附表 5 常见配离子的稳定常数 (298.15K)	273
附表 3 溶度积常数 (298.15K)	270		
参考文献	274		

元素周期表

绪 论

1. 化学的研究对象与内容

化学是在分子、原子或离子水平上研究物质的组成、结构、性质及其变化规律和变化过程中的能量关系的一门科学。化学是自然科学中的一门重要学科。

化学是一门古老的科学，人类最早利用的化学反应是燃烧，对化学知识的掌握，标志着人类从野蛮走向了文明；化学又是一门生机勃勃的科学，随着化学工业的大发展，给化学科学提供了日益丰富的研究对象和物质技术条件，开辟了日益广阔的研究领域。

化学的研究范围极其广泛，按研究的对象或研究的目不同，可将化学分为无机化学、分析化学、有机化学、物理化学等四大分支学科（即化学的二级学科）。

无机化学研究的对象是元素及其化合物（除碳氢化合物及其衍生物外）。它是化学最早发展起来的一门分支学科。当今无机材料化学、生物无机化学、有机金属化学是无机化学中最为活跃的一些领域，而物理无机化学、无机高分子化学、地球化学、宇宙化学、稀有元素化学等新型边缘学科也都生机勃勃。

分析化学研究物质化学组成的定性鉴定和定量测量、物理性能的测试、化学结构的确定以及相应原理，其特定任务是研究解决上述各种表征和测量问题的方法。分析化学是人们认识物质及其变化规律的眼睛。随着生命科学、信息科学和计算机技术的发展，使分析化学进入了一个崭新的阶段，有望把分析化学实验室搬到芯片上。

有机化学研究碳氢化合物及其衍生物，碳原子的正四面体结构是有机化合物结构的重要基础，故有人认为有机化学就是“碳的化学”。世界上每年合成的近百万个新化合物中的70%以上是有机化合物，这些化合物直接或间接地为人类提供大量的必需品。有机化学的迅速发展产生了不少分支学科（三级或四级学科），包括有机合成、金属有机、元素有机、天然有机、有机催化、有机方向、有机立体化学等。

物理化学应用物理测量方法和数学处理方法来研究物质及其反应，以寻求化学性质与物理性质间本质联系的普遍规律，其主要内容大致包括化学热力学、化学动力学和结构化学三个方面。化学热力学研究化学反应发生的方向和限度。化学动力学研究化学反应的速率和机理。结构化学研究原子、分子水平的微观结构以及这种结构和物质宏观性质间的相互关系，已成为量子化学的一个重要领域。

20世纪是化学取得巨大成就的世纪，化学的研究对象从微观世界到宏观世界，从人类社会到宇宙空间不断地发展，无论在化学的理论、研究方法、实验技术以及应用等方面都发生了巨大的变化。化学学科在其发展过程中与其他学科交叉结合衍生出许多交叉学科，如生物化学、环境化学、农业化学、医化学、材料化学、放射化学、激光化学、计算化学、星际化学等。

其中特别要提到生物化学，生物化学是一门交叉学科，主要应用化学的理论和方法来研究生命现象，在分子水平上阐明生命现象的化学本质，即研究生物体的化学组成及化学变化的规律。

2. 化学在社会发展中的作用和地位

化学作为一门中心的、实用的和创造性的科学，在人类生存、生存质量和安全方面将以

新的思路、新的观念和新的方式发挥核心科学的作用。20 世纪的化学科学在保证人们衣食住行需求、提高人民生活水平和健康状态等方面起了重大作用。展望未来,人口、环境、资源、能源问题更趋严重,在这些方面未来的化学将仍然是提供解决人类赖以生存的物质基础这一难题的核心科学。

化学仍是解决食物短缺问题的主要科学之一。化学将在设计、合成功能分子和结构材料以及分子层次阐明和控制生物过程(如光合作用、动植物生长)的机理、研究开发高效安全肥料和高效农药、饲料添加剂、农用材料(如生物可降解的农用薄膜),特别是与环境友善的生物肥料和生物农药等方面发挥作用。化学家利用各种最先进的手段,有望揭示光合系统的分子机理,从而达到高效利用光能,为农业增产服务。

化学在能源和资源的合理开发和高效安全利用中起关键作用。化学家从事的新电池和新的燃料电池催化剂的研究可能在 21 世纪有所突破,电动汽车将向实用化迈进。研究高效洁净的转化技术和控制低品位燃料的化学反应,开发满足高效、洁净、经济、安全的新能源都是化学工作者面临的重大课题。

化学将继续推动材料科学的发展。各种结构材料和功能材料与粮食一样永远是人类赖以生存和发展的物质基础。在满足人类衣食住行基本需求之后,为提高生存质量和安全,为可持续性发展,对新材料的要求不断提高。新能源的开发,信息工程中的信息采集、处理和执行都需要各种功能材料。设计和合成具有各种特殊性能的新型材料是化学家施展才能的广阔天地。化学是新材料的“源泉”。

化学也是国防现代化的重要支撑。化学为导弹的生产、人造卫星的发射提供多种具有特殊性能的化学产品,如高能燃料、高能电池、高敏胶片、耐高温、耐辐射的材料、形状记忆合金及隐形材料等。

化学将从分子水平上了解病理过程,提出预警生物标志物的检测方法,建议预防途径。化学工作者将不断创制新药物,为攻克糖尿病、肿瘤、艾滋病、非典(非典型肺炎)等疾病做出贡献。

3. 《基础化学》的内容和学习方法

《基础化学》是一门为高职高专化学工程与工艺、制药工程、生物技术、环境工程等专业开设的基础化学课程。它综合了现代无机化学、有机化学、物理化学、分析化学、生物化学的基本知识、基本理论及基本技能,全书以讲述化学基本知识和基本理论为主,适当考虑在工程中的应用。

本课程的教学目的是给学生高素质的化学通才教育。使学生对现代物质结构理论、化学热力学、化学平衡、分析化学、有机化学等学科,有一个较全面的了解,对一些与化学有关的实际问题有一定的分析和解决的能力,培养学生正确的学习和研究方法。

在学习《基础化学》时,首先要注意问题是怎样提出来的,解决问题的方法是什么,需要借助哪些理论和实验。在钻研教材的过程中,提倡独立思考、相互讨论,要辩证地思考教材,善于提出问题。着重培养自学能力,充分利用图书馆、资料室,通过参阅各种资料,更深刻地理解和掌握化学的基本理论和基本知识,并结合一些实际的化学问题,学会查阅参考文献和资料,为学习专业课程奠定必要的化学基础。

第 1 章 气体、溶液和胶体

一般来说,物质有三种不同的聚集状态,即气态、液态和固态。除此以外,还有外观像气态的等离子态以及外观像液态的液晶态。物质所处的状态与外界的温度、压力等条件有关。

1.1 气体

气体的基本特征是它的无限膨胀性和无限渗混性。不管容器的大小以及气体量的多少,气体都能充满整个容器,而且不同气体能以任意的比例相互混合从而形成均匀的气体混合物。物质处于气体状态时,分子彼此相距甚远,分子间的引力非常小,各个分子都在无规则地快速运动。气体的存在状态主要决定于四个因素,即体积、压力、温度和物质的量。反映这四个物理量之间关系的方程式称为气体状态方程式。

1.1.1 理想气体状态方程式

理想气体是一种假设的气体,实际上并不存在理想气体,理想气体模型要求气体分子之间完全没有作用力,气体分子本身也只是一个几何点,只占有位置而不占有体积。理想气体只能看作是真实气体在压力很低时的一种极限情况。当压力很低时,真实气体体积中所含气体分子的数目很少,分子间距离大,彼此间的引力可忽略不计,真实气体就接近理想气体。

当压力不太高(小于 101.325kPa)和温度不太低(大于 0℃)时的情况下,气体分子本身的体积和分子之间的作用力可以忽略,气体的温度、压力、体积以及物质的量之间的关系可以近似地用下式来表示

$$pV=nRT \quad (1-1)$$

式(1-1)称为理想气体状态方程式。式中, n 为气体的物质的量,单位为 mol; V 为气体的体积,单位为 L; T 为气体的温度,单位为 K; p 为气体的压力,单位为 Pa; R 为气体常数,其值为 8.314kPa·L/(mol·K) [或 J/(mol·K)]。

理想气体状态方程式也可表示为另外一种形式。

$$pV=\frac{m}{M}RT \quad (1-2)$$

式中, m 为气体的质量,单位为 g; M 为气体的摩尔质量,单位为 g/mol。

在常温常压下,一般的真实气体可用理想气体状态方程式(1-1)进行计算。在低温或高压时,由于真实气体与理想气体有较大差别,须将式(1-1)加以修正。

【例 1-1】 已知淡蓝色氧气钢瓶容积为 50L,在 20℃时,当它的压力为 1000kPa 时,估算钢瓶内所剩余氧气的质量。

解 由 $pV=\frac{m}{M}RT$, 得

$$m=\frac{MpV}{RT}=\frac{32\text{g/mol}\times 1000\text{kPa}\times 50\text{L}}{8.314\text{kPa}\cdot\text{L}/(\text{mol}\cdot\text{K})\times (273+20)\text{K}}=656.8\text{g}$$

钢瓶内所剩氧气为 656.8g。

1.1.2 气体分压定律

在科学实验和生产实际中，常遇到由几种气体组成的气体混合物。实验证明，只要各组分气体之间互不反应，就可视为互不干扰，就像各自单独存在一样。如果将几种互不发生化学反应的气体放入同一容器中，其中某一组分气体 B 对容器壁所施加的压力，称为该气体的分压 (P_B)，它等于在温度相同条件下，该组分气体单独占有与混合气体相同体积时所产生的压力。事实上，不可能测量出混合气体中某组分气体的分压，只可能测出混合气体的总压。1801 年，英国物理学家道尔顿 (J. Dalton) 通过实验发现，混合气体的总压等于组成混合气体的各组分气体的分压之和，这一关系被称为分压定律。可表示为

$$p = \sum p_i$$

式中， p 为气体的总压力； p_i 为组分气体 i 的分压。

如混合气体中各气体物质的量之和为 $n_{\text{总}}$ ，温度 T 时混合气体总压为 $p_{\text{总}}$ ，体积为 V ，则

$$p_{\text{总}} V = n_{\text{总}} RT$$

如以 n_i 表示混合气体中气体 i 的物质的量， p_i 表示其分压， V 为混合气体的体积，温度为 T ，则

$$p_i V = n_i RT$$

将该式除以上式，得

$$\frac{p_i}{p_{\text{总}}} = \frac{n_i}{n_{\text{总}}}$$

$$\text{或} \quad p_i = p_{\text{总}} \frac{n_i}{n_{\text{总}}} \quad (1-3)$$

$$\text{令} \quad x_i = \frac{n_i}{n_{\text{总}}} \quad (1-4)$$

$$\text{则} \quad p_i = p_{\text{总}} x_i \quad (1-5)$$

式中， x_i 表示组分气体 i 的物质的量与混合物的物质的量之比，称为组分气体 i 的摩尔分数 (物质的量分数)。

混合气体中某一组分气体 i 的分压 p_i 等于总压 $p_{\text{总}}$ 乘以气体 i 的摩尔分数。这是分压定律的又一种表示形式。

对于混合气体来说，各组分气体的摩尔分数之和等于 1，即 $\sum x_i = 1$ 。

同理，在一定温度和压力下，混合气体中组分 B 的分体积 (V_B) 也可以定义为混合气体总体积乘以物质 B 的物质的量分数，即

$$V_B = V_{\text{总}} x_B = V_{\text{总}} \frac{n_B}{n_{\text{总}}} \quad (1-6)$$

显然，各分体积之和等于总体积。在生产和科学实验中，常用体积分数来表示混合气体的组成。某组分的体积分数等于它的分体积除以混合气体的总体积 (或再乘 100%)。

根据式 (1-5) 和式 (1-6)，可以整理出

$$\frac{p_B}{p_{\text{总}}} = \frac{V_B}{V_{\text{总}}} = \frac{n_B}{n_{\text{总}}} \quad (1-7)$$

【例 1-2】 实验室用 KClO_3 分解制取氧气时， 25°C 、 100kPa 压力下，用排水集气法收集到氧气 0.245L (收集时瓶内外水面相齐)。已知 25°C 时水的饱和蒸气压为 3.17kPa ，求在 0°C 、 100kPa 时干燥氧气的体积。

解 令 $T_1 = 298\text{K}$ ， $V_1 = 0.245\text{L}$ ，由已知条件有

$$p_1 = p(\text{O}_2) = p_{\text{湿}} - p(\text{H}_2\text{O}) = 100\text{kPa} - 3.17\text{kPa} = 96.83\text{kPa}$$

令 $T_2=273\text{K}$, $p_2=100\text{kPa}$, 则由理想气体状态方程可得

$$\frac{p_2V_2}{T_2}=\frac{p_1V_1}{T_1}$$
$$V_2=\frac{p_1V_1T_2}{T_1p_2}=\frac{96.83\text{kPa}\times0.245\text{L}\times273\text{K}}{298\text{K}\times100\text{kPa}}=0.217\text{L}$$

在 0°C 、 100kPa 压力下得干燥氧气的体积为 0.217L 。

1.2 分散体系

一种或几种物质以细小的粒子分散在另一种物质里所形成的系统称为分散体系。溶液和胶体都是自然界中最常见的混合物,都是由一种或者几种物质以大小不同的颗粒状态被分散到另一种含量较多的物质中所形成的分散体系。

最简单的分散体系主要由两个部分构成:被分散的物质和对被分散物质起分散作用的物质。其中,被分散的物质通常称为分散相,而对被分散物质起分散作用的物质称为分散介质,或者分散剂。根据被分散物质的颗粒大小,分散体系可以分成三类:分子分散体系(溶液)、胶体分散体系和粗分散体系,见表 1-1。

表 1-1 分散体系按照被分散物质颗粒大小分类

类 型	颗粒半径/nm	特 性
粗分散体系	>100	粒子不能通过滤纸,不扩散,不渗析,在显微镜下可见
胶体分散体系	$1\sim100$	粒子能通过滤纸,扩散很慢,仅在超显微镜下可见
分子分散体系(溶液)	<1	粒子能通过滤纸,扩散很快,能渗析,在超显微镜下不可见

当被分散的物质是以分子、离子或者原子为单位被均匀地分散到另一个均匀的物质中,这种均匀的分散体系称为溶液。溶液中不论是被分散的物质还是分散介质的颗粒半径都很小,一般小于 1nm ,因此也将这种溶液称为真溶液。最常见的真溶液有工业酒精、生理盐水、稀硫酸溶液等。

在分散体系中,若被分散物质的颗粒半径介于 $1\sim100\text{nm}$ 之间时,所形成的分散体系称为胶体分散体系,简称胶体。胶体又可以分成溶胶和高分子溶液两类。溶胶指的是被分散物质为分子或者粒子的集合体,例如 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 溶胶、 AgI 溶胶等。高分子溶液指的是被分散物质为聚合物分子或者生物大分子,例如聚乙烯醇溶液、明胶等。

当被分散的物质的颗粒半径大于 100nm 时,所形成的分散体系称为粗分散体系。常见的奶油、泥浆水、烟尘等都属于粗分散体系。

另外,按照分散体系所处相态的不同,分散体系还可以分成均相分散体系和多相分散体系。均相分散体系是指被分散物质与分散介质混合后形成的是一个单相的体系,物质彼此以分子为单位分散。一般的真溶液和高分子溶液就属于均相分散体系,它们的特点是热力学稳定性好。而多相分散体系是指被分散物质与分散介质混合后形成的是多相混合体系,被分散物质通常以颗粒团的形式被分散到分散介质中。

1.3 溶液浓度的表示方法

溶液可以分为液态溶液(如糖水、食盐水)、固态溶液(如合金)、气态溶液(如空气)。通常所说的溶液指的是液态溶液,由溶质和溶剂组成。水是最常用的溶剂,如不特殊指明,

本书讨论的溶液均指水溶液。

溶液的性质常与溶液中溶质和溶剂的相对含量有关。因此,在任何涉及溶液的定量工作中都必须指明溶液的浓度,即指出溶质与溶剂的相对含量。溶液的浓度可以用不同的方法表示,最常见的有以下几种。

(1) 物质的量浓度 单位体积中所含溶质的物质的量称为该物质的物质的量浓度,简称浓度,用符号 c 表示。

$$c_B = \frac{n_B}{V} \quad (1-8)$$

式中, c_B 为溶质 B 的物质的量浓度,单位常用 mol/L; n_B 为溶质 B 的物质的量,单位常用 mol; V 为溶液的体积,单位常用 L。

由于 $n = \frac{m}{M} = cV$, 有

$$c = \frac{m}{MV} \quad (1-9)$$

式中, m 为溶质的质量,单位常用 g; M 为溶质的摩尔质量,单位为 g/mol。

(2) 物质的量分数(摩尔分数) 溶液中某组分物质的量占溶液总物质的量的分数称为该物质的物质的量分数,用符号 x 表示。若其溶液是由 A 和 B 两种组分组成的,它们在溶液中的物质的量分别为 n_A 和 n_B , 则

$$\text{组分 A 的物质的量分数: } x_A = \frac{n_A}{n_A + n_B} \quad (1-10)$$

$$\text{组分 B 的物质的量分数: } x_B = \frac{n_B}{n_A + n_B} \quad (1-11)$$

溶液各组分的物质的量分数之和等于 1, 即

$$x_A + x_B = 1 \quad (1-12)$$

(3) 质量摩尔浓度 用每千克质量溶剂中所含溶质的物质的量表示的浓度叫做质量摩尔浓度,用符号 b 表示,即

$$b_B = \frac{n_B}{m} \quad (1-13)$$

式中, b_B 为溶质 B 的质量摩尔浓度,单位为 mol/kg; n_B 为溶质 B 的物质的量,单位为 mol; m 为溶剂的质量,单位常用 kg。

(4) 质量分数 溶质的质量与整个溶液的总质量之比称为质量分数,用 w 表示,即

$$w_B = \frac{m_B}{m} \quad (1-14)$$

式中, m_B 为溶质 B 的质量,单位常用 kg; m 为溶液的总质量,单位常用 kg。质量分数 w_B 没有单位,过去常用百分含量表示,但不能称为质量百分比浓度。

【例 1-3】 已知质量分数为 10% 的盐酸溶液,密度为 1.047g/mL。计算 (1) HCl 的物质的量浓度; (2) HCl 的质量摩尔浓度; (3) HCl 的物质的量分数。

解 1000mL 此溶液中 HCl 的物质的量为:

$$n_{\text{HCl}} = \frac{0.10 \times 1000\text{mL} \times 1.047\text{g/mL} \times 10^3}{36.5\text{g/mol}} = 2.868\text{mol}$$

(1) 盐酸溶液的物质的量浓度 c_{HCl} :

$$c_{\text{HCl}} = \frac{2.868\text{mol}}{1\text{L}} = 2.868\text{mol/L}$$

(2) 盐酸溶液的质量摩尔浓度 b_{HCl} :

$$b_{\text{HCl}} = \frac{2.868 \text{ mol}}{(1.047 \text{ g/mL} - 1.047 \text{ g/mL} \times 10\%) \times 1000 \text{ mL} \times 10^{-3}} = 3.044 \text{ mol/kg}$$

(3) 盐酸溶液的物质的量分数 x_{HCl} :

1L 10% 的盐酸溶液中 H_2O 的物质的量为

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{0.90 \times 1.047 \text{ g/mL} \times 10^3 \text{ mL}}{18 \text{ g/mol}} = 52.35 \text{ mol}$$

$$x_{\text{HCl}} = \frac{2.868 \text{ mol}}{2.868 \text{ mol} + 52.35 \text{ mol}} = 0.052$$

1.4 分配定律

在一定的温度下,一定量的饱和溶液中溶质的含量称为溶解度。习惯上用 100g 溶剂中所能溶解的溶质的最大克数表示溶解度,现在多用溶解后溶液的浓度来表示。

1.4.1 相似相溶原理

溶质在溶剂中溶解时,主要依赖于溶质分子与溶剂分子之间的相互作用力,特别是静电作用力。因此在溶剂和溶质之间静电引力越强,越易溶解。

关于溶解度的规律至今还没有完整的理论,因此无法准确预言物质在液体中的溶解度。大量的实验表明,两种物质能否混合形成溶液,与溶剂和溶质的极性密切相关。极性物质易溶于极性溶剂中,非极性物质易溶于非极性溶剂中。两种物质的极性越接近,相互溶解度就越大;反之两种物质的极性相差越大,相互溶解度越小;当两种物质的极性相差非常大时,两个物质完全不互溶。这就是著名的“相似相溶原理”。

例如:水和乙醇都是极性分子,所以乙醇可以与水互溶,形成乙醇水溶液。苯和甲苯都是非极性分子,所以苯和甲苯可以互溶形成溶液。乙醚是非极性分子,而水是极性溶剂,所以水与乙醚不能互溶。非极性的烷烃分子易溶于乙醚,而不溶于水。

1.4.2 分配定律

当两液体完全混溶时,它们彼此不能分层。而彼此不互溶时,它们便分为两层。密度大的在下层,密度小的在上层。分配定律表示某溶质在两个互不相溶的溶剂中溶解度之间的关系。实验证明,在一定温度和压力下,将同一个溶质同时溶解到两种(A和B)互不相溶的溶剂中达到平衡时,溶质在这两溶剂中的溶解度之比等于常数。这就是分配定律,其数学表达式为:

$$k = \frac{c_A}{c_B} \quad (1-15)$$

式中, k 为分配系数; c_A 和 c_B 为溶质在溶剂 A 和溶剂 B 中的物质的量浓度。

实验表明,溶质在两溶剂中的溶解度越小,越符合分配定律。

【例 1-4】 25℃ 时,将 0.568g 的碘溶解于 50mL 的四氯化碳中,然后加入 500mL 的水一起摇动,达平衡时,在水中有 $2.33 \times 10^{-4} \text{ mol}$ 的碘。计算 25℃ 时碘在四氯化碳中的溶解度和碘在水和四氯化碳中的分配系数(碘的摩尔质量为 253.8g/mol)。

解 平衡时碘在水中的溶解度为:

$$c_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{2.33 \times 10^{-4} \text{ mol}}{500 \times 10^{-3} \text{ L}} = 4.66 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$$

平衡时碘在四氯化碳中的物质的量为:

$$n_{\text{CCl}_4} = \frac{0.568 \text{ g}}{253.8 \text{ g/mol}} - 2.33 \times 10^{-4} \text{ mol} = 0.002 \text{ mol}$$