



全国高等农林院校“十一五”规划教材

普通化学

虎玉森 田 超 主编

 中国农业出版社

全国高等农林院校“十一五”规划教材

普通化学

虎玉森 田超 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

普通化学/虎玉森, 田超主编. —北京: 中国农业出版社, 2007.7

全国高等农林院校“十一五”规划教材

ISBN 978-7-109-11700-6

I. 普… II. ①虎…②田… III. 普通化学-高等学校-教材 IV. 06

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 083081 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

责任编辑 曾丹霞

北京智力达印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所发行

2007 年 7 月第 1 版 2007 年 7 月北京第 1 次印刷

开本: 720 mm×960 mm 1/16 印张: 16.75 插页: 1

字数: 293 千字

定价: 24.50 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

林选收限“正一十”外制林农等高国全

内 容 简 介

本教材是全国高等农林院校“十一五”规划教材。全书共分 11 章,内容包括物质的状态、溶液和胶体,化学反应速率,化学热力学基础,化学平衡,酸碱平衡,沉淀溶解平衡,配位平衡,氧化还原反应与电化学基础,原子结构与元素周期律,化学键与分子结构,重要元素及其化合物等。

本教材内容丰富、深浅适宜,概念准确、论述简洁,各章设有教学要求和适量思考题与习题,适合作为高等农林院校农林牧医等专业本科生教材,也可供相关化学工作者使用。

林选收限“正一十”外制林农等高国全

主 编 虎玉森 田 超

副主编 宋 丽 石 军

编 者 (以姓氏笔画为序)

王兴民 石 军 田 超

肖 雯 宋 丽 张 鑫

虎玉森 姚晓林 徐晓萍

曾 盔 蒲陆梅

前 言

本教材是全国高等农林院校“十一五”规划教材。

化学基本理论和基础知识是当代农业科技工作者知识结构中必不可少的组成部分,是生物技术转化为生产力的纽带和桥梁。作为生物科学工作者必须具备坚实的化学理论基础,因此,普通化学是高等农林院校学生的必修课程。为了落实教育部“关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见”,提高教材建设效率,体现各校普通化学“精品课程”建设成果,由多位资深教师结合多年的教学实践经验,编写完成了这本教材。本教材具有以下特点:

(1) 内容安排难易搭配,分布适当。先介绍物质的状态、溶液和胶体,再介绍化学动力学理论和热力学原理,在此基础上讨论酸碱平衡、沉淀溶解平衡、氧化还原反应和配位平衡,然后介绍原子结构和分子结构理论,最后讨论重要元素及其化合物。这种安排将热力学原理和物质结构理论两个教学难点有效分散,有利于学生学习掌握。

(2) 调整教材结构,增加教材系统性。将配位化合物的价键理论调整到分子结构理论中,使四大平衡问题和物质结构理论内容更加系统,全书结构更加严谨合理。

(3) 注重与生物学科的结合,体现农科化学教育的特色。应用化学原理讨论动植物的一些生理功能,激发学生的学习兴趣。特别是元素化学注重与生物学科的联系,重点讨论元素的生物学效应和生物功能。

(4) 全书论述简洁,概念准确,深浅适宜,便于自学。各章均设有教学要求,便于学生抓住重点和难点。思考题与习题选择除了强化基本理论和基础知识外,还注重了实用性、研究性和启发性,以培养学生分析问题和解决问题的能力。

书中小字排版的部分为拓展知识或难度层次较高的内容，可根据实际情况选用。

参加本教材编写的有西南大学宋丽（第2章），安徽农业大学田超（第3章）、姚晓林（第4章）、张鑫（第9章），湖南农业大学曾盃（第5章），天津农学院徐晓萍（第7章）、石军（第8章），甘肃农业大学蒲陆梅（第1章）、肖雯（第6章）、虎玉森（第10章）、王兴民（第11章）。全书由虎玉森、田超统稿、修改和定稿。

本教材在编写过程中参考了大量文献，引用了部分文献的图表，在此对这些参考文献的作者表示衷心的感谢。同时感谢参编学校和中国农业出版社的大力支持与协助。

鉴于编者水平有限，书中疏漏之处，敬请专家和读者批评指正。

编者

2007年5月

目 录

前言

1 物质的状态、溶液和胶体	1
教学要求	1
1.1 物质的聚集状态	1
1.1.1 气体	1
1.1.2 液体	4
1.1.3 固体	5
1.1.4 水的相图	6
1.1.5 物质的第四态——等离子体	7
1.2 溶液	7
1.2.1 分散系的概念	7
1.2.2 溶液浓度的表示方法	9
1.2.3 稀溶液的依数性	11
1.2.4 强电解质溶液简介	17
1.3 胶体	17
1.3.1 吸附作用	17
1.3.2 溶胶的制备	19
1.3.3 溶胶的性质	19
1.3.4 胶团结构	22
1.3.5 溶胶的稳定性与聚沉	23
1.3.6 高分子溶液及凝胶	24
1.4 表面活性剂和乳浊液	25
1.4.1 表面活性剂	25
1.4.2 乳浊液	26
思考题与习题	27
2 化学反应速率	29
教学要求	29
2.1 化学反应进度与化学反应速率	29
2.1.1 化学反应进度	29

2.1.2	化学反应速率的表示和测定	30
2.1.3	反应机理	31
2.2	反应速率理论简介	32
2.2.1	碰撞理论	32
2.2.2	过渡态理论	33
2.3	浓度对反应速率的影响	34
2.3.1	质量作用定律和基元反应的速率方程	34
2.3.2	复杂反应的速率方程	35
2.3.3	反应级数	36
2.3.4	一级反应的积分速率方程	37
2.4	温度对反应速率的影响	38
2.4.1	范特霍夫规则	38
2.4.2	阿仑尼乌斯公式	39
2.5	催化剂对反应速率的影响	40
2.5.1	催化剂的作用原理	41
2.5.2	催化剂的特性	42
2.5.3	催化反应的类型	42
	思考题与习题	44
3	化学热力学基础	47
	教学要求	47
3.1	基本概念	47
3.1.1	系统和环境	47
3.1.2	状态和状态函数	48
3.1.3	过程和途径	49
3.1.4	热和功	50
3.1.5	热力学能	50
3.2	热化学	51
3.2.1	热力学第一定律	51
3.2.2	化学反应热	51
3.2.3	热化学方程式	53
3.2.4	化学反应标准摩尔焓变的计算	54
3.3	化学反应方向	59
3.3.1	自发过程	59
3.3.2	化学反应的自发性与焓变	60
3.3.3	化学反应的自发性与熵变	60

3.3.4 化学反应的自发性与吉布斯自由能	62
思考题与习题	68
4 化学平衡	72
教学要求	72
4.1 化学平衡状态	72
4.1.1 化学平衡及其特征	72
4.1.2 化学平衡常数	73
4.2 化学反应等温方程及其应用	76
4.3 化学平衡的移动	79
4.3.1 浓度对化学平衡移动的影响	79
4.3.2 压力对化学平衡移动的影响	81
4.3.3 温度对化学平衡移动的影响	83
思考题与习题	84
5 酸碱平衡	87
教学要求	87
5.1 酸碱质子理论	87
5.1.1 质子酸碱	88
5.1.2 酸碱的强度	89
5.1.3 水的质子自递反应与水溶液的酸度	91
5.1.4 水溶液中共轭酸碱对的 $K_a^\ominus$ 与 $K_b^\ominus$	92
5.2 水溶液中的酸碱平衡	92
5.2.1 一元弱酸弱碱的离解平衡	92
5.2.2 多元弱酸弱碱的离解平衡	94
5.2.3 两性物质的离解平衡	97
5.3 酸碱平衡的移动	98
5.3.1 同离子效应与盐效应	99
5.3.2 溶液酸度对酸碱平衡的影响	100
5.4 缓冲溶液	102
5.4.1 缓冲溶液和缓冲作用	102
5.4.2 缓冲溶液 pH 的计算	103
5.4.3 缓冲容量及缓冲范围	104
5.4.4 缓冲溶液的选择和配制	105
5.5 酸碱电子理论	106
思考题与习题	107

6 沉淀溶解平衡	109
教学要求	109
6.1 难溶电解质的溶度积	109
6.1.1 溶度积常数	109
6.1.2 溶度积规则	112
6.2 沉淀溶解平衡的移动	112
6.2.1 沉淀的生成	112
6.2.2 分步沉淀	114
6.2.3 沉淀的溶解	116
6.2.4 沉淀的转化	118
思考题与习题	119
7 配位平衡	121
教学要求	121
7.1 配位化合物的基本概念	121
7.1.1 配位化合物的组成	121
7.1.2 配位化合物的命名	123
7.1.3 配位化合物的类型	124
7.2 配位平衡	126
7.2.1 配位化合物的稳定常数	126
7.2.2 配位平衡的移动	128
7.3 配位化合物的应用	131
7.3.1 在冶金工业中的应用	131
7.3.2 在分析化学中的应用	131
7.3.3 在生命科学中的应用	132
7.3.4 在医药卫生领域中的应用	132
思考题与习题	133
8 氧化还原反应与电化学基础	135
教学要求	135
8.1 氧化还原反应	135
8.1.1 基本概念	135
8.1.2 氧化还原反应方程式的配平	138
8.2 原电池和电极电势	140
8.2.1 原电池与电极	140

8.2.2 电极电势	142
8.2.3 电池电动势与化学反应吉布斯自由能的关系	146
8.3 影响电极电势的因素	147
8.3.1 能斯特方程	147
8.3.2 浓度对电极电势的影响	148
8.3.3 酸度对电极电势的影响	149
8.3.4 沉淀反应对电极电势的影响	149
8.3.5 配位反应对电极电势的影响	150
8.4 电极电势的应用	151
8.4.1 判断氧化剂和还原剂的强弱	151
8.4.2 判断氧化还原反应进行的方向	151
8.4.3 选择适当的氧化剂和还原剂	153
8.4.4 判断氧化还原反应进行的次序	154
8.4.5 判断氧化还原反应进行的程度	154
8.5 元素电势图及其应用	155
思考题与习题	156
9 原子结构与元素周期律	160
教学要求	160
9.1 微观粒子的运动特征	160
9.1.1 氢原子光谱和玻尔理论	160
9.1.2 微观粒子的波粒二象性	162
9.1.3 不确定原理	163
9.2 核外电子运动状态	164
9.2.1 波函数和原子轨道	164
9.2.2 四个量子数	165
9.2.3 原子轨道和电子云图形	167
9.3 基态原子核外电子排布	172
9.3.1 屏蔽效应和钻穿效应	172
9.3.2 原子轨道的近似能级图	173
9.3.3 基态原子核外电子排布	174
9.4 原子结构与元素周期律	178
9.4.1 原子结构与周期表	178
9.4.2 原子结构与元素基本性质	180
思考题与习题	186

10 化学键与分子结构	188
教学要求	188
10.1 离子键	188
10.1.1 离子键的形成和本质	188
10.1.2 离子的性质	189
10.1.3 晶格能	190
10.2 共价键	191
10.2.1 价键理论	191
10.2.2 杂化轨道理论	193
10.2.3 价层电子对互斥理论	197
10.2.4 分子轨道理论简介	200
10.3 配合物的化学键理论	202
10.3.1 配合物的价键理论	202
10.3.2 配合物的晶体场理论	207
10.4 分子间力和氢键	212
10.4.1 分子极性与分子极化	212
10.4.2 分子间作用力	214
10.4.3 氢键	216
10.5 晶体类型	217
10.5.1 离子晶体	218
10.5.2 分子晶体	219
10.5.3 原子晶体	219
10.5.4 金属键和金属晶体	219
思考题与习题	220
11 重要元素及其化合物	222
教学要求	222
11.1 重要营养元素及其化合物	222
11.1.1 元素与生命	222
11.1.2 构成生命体的六大元素	223
11.1.3 生命体中的四种宏量金属元素	224
11.1.4 卤素元素与生命体	225
11.1.5 铁系元素与生命体	226
11.1.6 锰、铜、锌元素与生命体	226
11.2 重要污染元素及其化合物	227

目 录

11.2.1 铅及其化合物	227
11.2.2 汞及其化合物	228
11.2.3 镉及其化合物	228
11.2.4 铬及其化合物	228
11.2.5 砷及其化合物	229
11.2.6 氮氧化物	229
11.3 常见阳离子的一般性质及分别鉴定	230
11.4 常见阴离子的一般性质及分别鉴定	235
思考题与习题	237
附录	238
附录 I 国际单位制 (SI)	238
附录 II 基本常数	239
附录 III 常见物质的热力学数据	239
附录 IV 弱电解质的离解常数	246
附录 V 难溶电解质的溶度积常数 (298 K)	247
附录 VI 配离子的稳定常数 (298 K)	248
附录 VII 标准电极电势表 $\varphi^{\ominus}$ (298 K)	249
主要参考文献	253
元素周期表	

1 物质的状态、溶液和胶体

教学要求

1. 了解物质的存在状态及其性质；掌握理想气体状态方程、分压定律及其应用。
2. 了解物质的量及其单位摩尔的概念，掌握溶液浓度的表示方法及其计算。
3. 了解稀溶液的依数性，并掌握其有关计算及应用。
4. 了解分散系的概念及分类，了解溶胶的制备和基本性质，掌握胶团结构，掌握溶胶的稳定性和聚沉。
5. 了解高分子溶液及凝胶的性质；了解表面活性物质和乳浊液的基本特性。

物质形态万千、种类繁多、运动形式多样，它们既服从共同的普遍规律，又各具特征。作为自然科学之一的化学，就是研究物质化学运动和变化规律的科学，即研究那些具有一定质量、占有一定空间的实物的组成、结构、性质和变化规律，以及伴随这些变化过程的能量关系的科学。

物质的聚集状态有气态、液态、固态和等离子态四种，它们在一定的条件下可以互相转化。在常温常压下，主要以气态、液态或固态形式存在。不同的物质还可以互相分散，构成不同种类的分散系。本章将简要介绍物质的聚集状态及其性质，介绍分散系的基本概念，在此基础上讨论稀溶液理论和胶体分散系。

1.1 物质的聚集状态

1.1.1 气体

气体是一种较简单的聚集状态，其基本特征是扩散性和可压缩性。将一定量的气体引入容器中时，气体分子立即向各个方向扩散，并均匀地充满整个容器，所以，气体既没有固定的体积又没有固定的形状，所谓气体的体积就是指它们所在容器的容积。在一定温度下，无规则运动的气体分子具有一定的能

量, 在运动过程中分子彼此间发生碰撞, 气体分子和容器器壁也发生碰撞, 这种碰撞就产生了气体的压力。气体的状态常用其物质的量 (n)、体积 (V)、压力 (p) 和热力学温度 (T) 来描述。

1.1.1.1 理想气体状态方程

我们将忽略了分子体积和分子间作用力的气体称为理想气体。理想气体实际是不存在的。通常可把高温 (高于 273 K) 低压 (低于数百千帕) 气体近似地看作理想气体。描述理想气体状态的四个物理量之间有如下定量关系:

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

式 (1-1) 称为理想气体状态方程。式中, p 为气体压力, 单位 kPa; V 为气体体积, 单位 L; T 为气体温度, 单位 K; n 为气体物质的量, 单位 mol; R 为摩尔气体常数, $R=8.314 \text{ kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}=8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 。

例 1-1 一个容积为 40.0 L 的氮气钢瓶, 在 296 K 时, 压力为 12 770 kPa, 计算钢瓶中氮气的质量。

解: 已知 $V=40.0 \text{ L}$, $T=296 \text{ K}$, $p=12\,770 \text{ kPa}$, 根据式 (1-1)

$$n = \frac{pV}{RT}$$

$$n = \frac{12\,770 \text{ kPa} \times 40.0 \text{ L}}{8.314 \text{ kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 296 \text{ K}} = 207.6 \text{ mol}$$

N_2 摩尔质量为 $28.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, 钢瓶中 N_2 的质量为

$$m = 28.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 207.6 \text{ mol} = 5\,812.8 \text{ g}$$

例 1-2 某气态氮的氧化物中含氮的质量分数为 30.5%。将该化合物 4.107 g 装入 0.50 L 的密闭容器中, 测得压力为 202.7 kPa、温度为 0 °C。试求在标准状况下, 该气体的相对分子质量和分子式。

解: 设该氧化物的摩尔质量为 M , 则

$$pV = \frac{m}{M}RT$$

$$M = \frac{mRT}{pV} = \frac{4.107 \text{ g} \times 8.314 \text{ kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 273 \text{ K}}{202.7 \text{ kPa} \times 0.50 \text{ L}} \\ = 92.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

设该氮氧化物的分子式为 N_xO_y , 根据题意

$$\frac{14 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times x \text{ mol}}{14 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times x \text{ mol} + 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times y \text{ mol}} = 0.305$$

解得 $y/x=2$, 故分子式为 N_xO_{2x} , 根据该氧化物的摩尔质量

$$14x \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} + 2 \times 16x \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 92.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

解得 $x=2$, 故分子式为 N_2O_4 。

1.1.1.2 气体分压定律

在实际生活中常常会遇到气体混合物，如空气中含有氮气、氧气、水蒸气和各种稀有气体；烟道废气中含有二氧化碳、一氧化碳、氮气和水蒸气等。如果将几种彼此不发生化学反应的气体放在同一容器中，则各种气体如同单独存在时一样充满整个容器，某一组分气体所产生的压力（分压力）不会因其他组分气体的存在而改变。在恒温条件下，混合气体中每一组分气体单独占有整个混合气体容积时所产生的压力，称为该组分气体的分压力。

1801年，道尔顿（J. Dalton）通过实验发现：在温度与体积恒定时，混合气体的总压等于混合气体中各组分气体分压之和。这一关系称为道尔顿分压定律。

若用 p_A 、 p_B ……表示系统中气体 A、B……的分压力， p 代表系统总压力，则道尔顿分压定律可表示为

$$p = p_A + p_B + \cdots \quad (1-2)$$

对每一种气体有

$$p_A V = n_A RT \quad p_B V = n_B RT \cdots \quad (1-3)$$

对所有的气体求和得

$$\begin{aligned} p_A V + p_B V + \cdots &= n_A RT + n_B RT + \cdots \\ (p_A + p_B + \cdots) V &= (n_A + n_B + \cdots) RT \\ pV &= nRT \end{aligned} \quad (1-4)$$

式（1-4）即为混合气体的状态方程式。以式（1-3）除以式（1-4）得

$$\begin{aligned} \frac{p_A}{p} &= \frac{n_A}{n} = x_A \quad \text{即} \quad p_A = x_A p \\ \frac{p_i}{p} &= \frac{n_i}{n} = x_i \quad \text{即} \quad p_i = x_i p \end{aligned} \quad (1-5)$$

式中， x 称为摩尔分数，用于表示混合物中某组分的含量。式（1-5）表明某组分气体的分压等于混合气体的总压与该组分气体摩尔分数的乘积。

道尔顿分压定律对于研究气体混合物十分重要。例如，实验室中常用排水集气法收集气体，收集到的气体中常常含有饱和的水蒸气，这种情况下所测出的压力值应该是混合气体的总压力 p ：

$$p = p(\text{气}) + p(\text{H}_2\text{O})$$

水的饱和蒸气压仅与温度有关，可从物理化学手册中查出，因此收集气体的分压可由上式计算得到。

例 1-3 296 K，100 kPa 条件下，在水面上收集了 0.40 L 氧气，计算收集到的干燥氧气的体积。