



全国高等农林院校“十一五”规划教材

普通化学

孙 英 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

孙 英 主编

中 国 农 业 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

普通化学 / 孙英主编. — 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 - 11829 - 4

I. 普… II. 孙… 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 107203 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: 720mm×960mm 1/16 印张: 17.25 插页: 1

字数: 300 千字

定价: 25.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

主 编 孙 英

副主编 郑先福 敖特根

编 者 (按姓氏笔画排序)

王红梅 宁爱民 冯世德 孙 英

阿 娟 郑先福 胡晓娟 敖特根

主 审 赵士铎

前 言

本教材是为了适应高等农林院校各专业教育发展的需要,根据“十一五”高等农林专业人才培养模式改革的需要,结合我们多年的教学实践经验而编写的。本教材适用于高等农林院校各专业本科生使用。

普通化学 (general chemistry) 作为高等农林院校本科生的一门概论性的重要基础课,它的一个重要特点是,既要完成化学学科自身丰富的教学内容,又要为学生的后续课程打下必要的基础。因此,为满足新世纪对农科学生既要具备扎实的基础知识,又要具备宽广的知识面及较强的动手能力等基本要求,中国农业出版社组织了一批长期从事普通化学一线教学、教学经验丰富的骨干教师,在吸收各高等农林院校长期积累的教学及教学研究实践经验的基础上,经过编者认真研究讨论后,遵循更少一点理论 (减少目前越来越多地向化学专业靠拢的物化理论知识);更少一点计算 (减少部分繁琐的数学计算,避免复杂公式推导);更多一点思考 (每章后附设“思考题与习题”,激发学生主动学习的积极性);更多一点兴趣 (融入部分化学发展史及当今一些与生命科学、环境科学相联系的内容)和更普通一点 (精简理论部分,注重实用性,拓宽知识面)的指导思想编写了本教材。本教材在内容上力求符合高等农林院校教学实际和教学形势发展的要求,反映农林院校化学教学特点。

全书共分 11 章。参加编写工作的有:河南农业大学郑先福 (第 8 章)、胡晓娟 (第 1、6 章)、宁爱民 (第 10 章),内蒙古农业大学敖特根 (第 7、9 章)、阿娟 (第 3、5 章),黑龙江八一农垦大学冯

世德（第4章），中国农业大学孙英（第2章）、王红梅（第11章），全书由主编、副主编修改和统稿。

中国农业大学赵士铎教授对本教材的全部书稿进行了把关、审定，为本书的出版付出了很多精力；中国农业出版社为本书的顺利出版给予了大力的支持，在此一并表示衷心的感谢！

由于编者的水平有限，难免会有疏漏之处，敬请同行专家和读者不吝赐教，以待改进，编者万分感激。

本教材在编写过程中参考了许多相关的文献资料，在此对这些参考书的作者表示感谢。

编 者

2007年6月于北京

目 录

前言

1 物质的状态	1
1.1 气体	1
1.1.1 理想气体状态方程	1
1.1.2 理想混合气体的分压定律	2
1.2 溶液	3
1.2.1 溶液的组成标度	3
1.2.2 非电解质稀溶液的依数性	5
1.3 强电解质溶液简介	13
1.3.1 电解质稀溶液的依数性	13
1.3.2 强电解质溶液理论简介	14
1.4 胶体	15
1.4.1 分散系	15
1.4.2 溶胶的性质	16
1.4.3 固体在溶液中的吸附	18
1.4.4 胶团结构	21
1.4.5 溶胶的稳定性和聚沉	23
1.4.6 表面活性剂和乳浊液	24
思考题与习题	26
2 化学热力学基础	28
2.1 基本概念	28
2.1.1 系统和环境	28
2.1.2 状态和状态函数	28
2.1.3 过程和途径	29
2.1.4 热力学标准状态	29

2.1.5 热力学能、功、热	30
2.1.6 热力学第一定律	30
2.1.7 化学反应进度概念	31
2.2 热化学	32
2.2.1 化学反应热	32
2.2.2 盖斯定律	33
2.2.3 标准摩尔生成焓	34
2.3 化学反应的方向	36
2.3.1 熵的初步概念	36
2.3.2 吉布斯自由能	38
2.3.3 标准摩尔吉布斯自由能变	39
2.3.4 吉布斯-亥姆霍兹方程的应用	40
2.3.5 化学反应等温方程式	41
思考题与习题	43
3 化学平衡	46
3.1 平衡状态与平衡常数	46
3.1.1 化学平衡状态	46
3.1.2 化学平衡常数	47
3.1.3 吉布斯自由能变与化学平衡	48
3.2 多重平衡	49
3.3 化学平衡的移动	50
3.3.1 浓度对化学平衡的影响	51
3.3.2 压力对化学平衡的影响	51
3.3.3 温度对化学平衡的影响	53
思考题与习题	55
4 化学动力学基础	58
4.1 化学反应速率	58
4.2 反应速率理论简介	59
4.2.1 碰撞理论	60
4.2.2 过渡态理论	61
4.3 浓度对化学反应速率的影响	62
4.3.1 反应物浓度与反应速率的关系——质量作用定律	62

4.3.2 反应级数	63
4.3.3 反应机理	64
4.4 温度对化学反应速率的影响.....	64
4.4.1 范特霍夫规则	64
4.4.2 阿仑尼乌斯方程	65
4.5 催化剂对化学反应速率的影响	66
4.5.1 催化剂与催化作用	66
4.5.2 催化作用的特点	67
4.5.3 均相催化和多相催化反应	68
4.5.4 酶催化反应	68
思考题与习题	69
5 酸碱平衡	71
5.1 酸碱质子理论	71
5.1.1 质子酸碱定义	72
5.1.2 酸碱反应	72
5.1.3 酸碱的相对强弱	74
5.2 酸碱水溶液中 H^+ 浓度的计算.....	77
5.2.1 一元弱酸(碱)溶液	78
5.2.2 多元弱酸(碱)溶液	80
5.2.3 两性物质溶液	83
5.3 酸碱平衡的移动	84
5.3.1 酸度对弱酸(碱)各型体分布的影响.....	84
5.3.2 同离子效应	87
5.3.3 静电效应	88
5.4 缓冲溶液	89
5.4.1 缓冲溶液的定义和组成.....	89
5.4.2 缓冲作用原理及缓冲溶液 pH 的计算.....	90
5.4.3 缓冲容量及缓冲范围	92
5.4.4 缓冲溶液的选择与配制.....	93
5.4.5 缓冲溶液的应用	95
思考题与习题	96
6 沉淀反应	99

6.1 难溶电解质的溶度积	99
6.1.1 沉淀溶解平衡和溶度积常数	99
6.1.2 溶度积的计算及其与溶解度的关系	100
6.2 溶度积规则及其应用	101
6.2.1 溶度积规则	101
6.2.2 沉淀的生成	102
6.2.3 分步沉淀	103
6.2.4 沉淀的溶解	105
6.2.5 沉淀的转化	108
思考题与习题	108
7 氧化还原反应	111
7.1 基本概念	111
7.1.1 氧化数	111
7.1.2 氧化、还原及氧化还原反应	112
7.1.3 氧化还原电对	113
7.1.4 歧化反应	114
7.2 氧化还原反应方程式的配平	114
7.3 原电池	117
7.3.1 原电池的组成	117
7.3.2 电极及电极种类	118
7.3.3 电池符号	119
7.3.4 电动势与 $\Delta_r G_m$ 的关系	119
7.4 电极电势	120
7.4.1 标准电极电势	120
7.4.2 电极电势的能斯特方程	122
7.5 电极电势的应用	126
7.5.1 判断氧化剂及还原剂的相对强弱	126
7.5.2 判断氧化还原反应的方向	128
7.5.3 判断氧化还原反应程度	128
7.6 元素标准电极电势图及其应用	130
7.6.1 元素标准电极电势图	130
7.6.2 标准电极电势图的应用	131
思考题与习题	132

8 原子结构	135
8.1 原子结构理论的发展	135
8.1.1 经典力学的原子结构理论	135
8.1.2 玻尔氢原子结构理论	136
8.1.3 微观粒子的波粒二象性	137
8.2 核外电子运动状态的描述	139
8.2.1 薛定谔方程——微粒的波动方程	139
8.2.2 四个量子数	141
8.2.3 原子轨道的角度分布图	144
8.2.4 电子云和径向分布图	144
8.2.5 多电子原子轨道的能级	147
8.2.6 基态多电子原子的电子排布	149
8.3 原子结构与元素周期律	151
8.3.1 周期表的结构	151
8.3.2 元素基本性质的周期性	153
思考题与习题	159
9 化学键与分子结构	161
9.1 离子键理论	161
9.1.1 离子键的形成	161
9.1.2 离子键的特点	162
9.1.3 离子的特征	163
9.2 共价键的价键理论	165
9.2.1 共价键的本质和特点	166
9.2.2 共价键的类型	168
9.2.3 键参数	169
9.3 杂化轨道理论	170
9.3.1 杂化轨道理论基本要点	171
9.3.2 杂化轨道的类型和分子空间构型	171
9.4 价层电子对互斥理论	176
9.4.1 价层电子对互斥理论 (VSEPR) 基本要点	176
9.4.2 判断分子几何构型的一般步骤及应用实例	177
9.5 分子轨道理论简介	180

9.5.1 分子轨道理论基本要点	180
9.5.2 同核双原子分子的分子轨道能级图	182
9.6 分子的极性、分子间力和氢键	184
9.6.1 键的极性和分子的极性	184
9.6.2 分子间力	185
9.6.3 氢键	188
9.7 晶体结构简介	192
9.7.1 晶体的基本特征	192
9.7.2 晶体的基本类型及物性比较	192
思考题与习题	196
10 配位化合物	198
10.1 配位化合物的基本概念	198
10.1.1 配位化合物的组成	198
10.1.2 配位化合物的命名	201
10.1.3 螯合物	201
10.2 配位化合物的价键理论	202
10.2.1 价键理论的要点	202
10.2.2 配位化合物空间构型与中心原子的杂化方式解析	203
10.2.3 内轨型配位化合物与外轨型配位化合物	205
10.3 配位化合物在水溶液中的平衡	206
10.3.1 配离子的稳定常数	206
10.3.2 配离子的稳定性	208
10.4 配位平衡的移动	209
10.4.1 配位平衡与酸碱平衡	209
10.4.2 配位平衡与沉淀溶解平衡	210
10.4.3 配位平衡与氧化还原平衡	211
10.4.4 配离子的相互转化	213
思考题与习题	213
11 元素化学	216
11.1 生命元素	216
11.1.1 常量元素及其性质	216
11.1.2 微量元素及其性质	226

11.2 有毒有害元素	236
11.3 环境污染物及其治理	238
11.3.1 大气污染及其治理	238
11.3.2 水污染及其治理	239
思考题与习题	241
附录	242
附录一 一些重要的物理常数	242
附录二 一些物质的 $\Delta_f H_m^\ominus$, $\Delta_f G_m^\ominus$ 和 $S_m^\ominus$ (298.15 K)	242
附录三 弱酸、弱碱在水中的离解常数 $K^\ominus$ (25 °C, $I=0$)	249
附录四 常用缓冲溶液的 pH 范围	251
附录五 难溶电解质的溶度积 (18~25 °C)	252
附录六 一些化学键的键能 (298.15 K)	252
附录七 鲍林离子半径	253
附录八 配离子的稳定常数	253
附录九 标准电极电势 (298.15 K)	254
主要参考文献	260

物质的状态

固态、液态和气态是物质在常温下存在的三种主要状态。物质状态与外界条件密切相关，不同的存在状态具有不同的特性，在一定的条件下又可以相互转化。本章主要讨论气体和溶液的重要性质。主要内容有理想气体状态方程、气体分压定律；溶液的组成标度，稀溶液的通性；胶体溶液的一般特性；表面活性剂和乳浊液的基本性质。

1.1 气体

1.1.1 理想气体状态方程

理想气体是人们以实际气体为根据忽略气体分子本身体积以及分子间的相互作用力抽象而成的一种人为的气体模型。实际中理想气体是不存在的，建立这种气体模型是为了将实际问题简单化，形成一个标准。在高温低压下，实际气体接近理想气体，故这种抽象是有实际意义的。

对于理想气体，气体的体积 V 、压力 p 、温度 T 和物质的量 n 之间符合下列关系：

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

此式称为理想气体状态方程。应用理想气体状态方程时，要注意单位的统一。在国际单位制中 p 用 Pa（帕斯卡）、 V 用 m^3 （立方米）、 n 用 mol（摩尔）、 T 用 K（开尔文）为单位，此时 R 为 $8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 。

例 1-1 有人在实验室收集了天然气，298 K 时在一个 0.25 L 的烧瓶中收集气压为 $7.33 \times 10^4 \text{ Pa}$ 的气体，称得此气体的质量为 0.118 g（298 K），从这些数据求此气体的相对分子质量。

解：由 $pV = nRT = \frac{m}{M}RT$ 得

$$M = \frac{nRT}{pV} = \frac{0.118 \text{ g} \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 298 \text{ K}}{7.33 \times 10^4 \text{ Pa} \times 0.25 \times 10^{-3} \text{ m}^3} = 15.95 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

故此气体的相对分子质量为 15.95。

例 1-2 求氧气在 298 K、500 kPa 下的密度。

解：由 $pV = nRT = \frac{m}{M}RT$ 得

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{pM}{RT} = \frac{500 \times 10^3 \text{ Pa} \times 32 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}}{8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 298 \text{ K}} = 6.46 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

求得氧气的密度为 $6.46 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ($6.46 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$)。

1.1.2 理想混合气体的分压定律

实际工作中，经常遇到两种或几种互不发生反应的理想气体组成的混合气体，组成混合气体的每种气体都称为该混合气体的组分气体。空气就是由 O_2 、 N_2 、 CO_2 等气体组成的混合气体，其中 O_2 、 N_2 、 CO_2 等均为空气的组分气体。

混合理想气体所占有的体积称为总体积，用 $V_{\text{总}}$ 表示，当某组分气体单独存在，且占有总体积时，其在容器中碰撞器壁产生压力，称为该组分气体的分压，用 p_i 表示。

1801 年道尔顿在大量实验的基础上，提出了混合气体的分压定律。定律的内容表述为，混合气体的总压等于各组分气体的分压之和，即

$$p_{\text{总}} = p(\text{A}) + p(\text{B}) + \cdots + p(n) = \sum_i p_i \quad (1-2)$$

某组分气体的分压等于在与混合气体相同的温度下，该气体单独占有与混合气体相同体积容器时所具有的压力，即

$$p_i = \frac{n_i}{V}RT \quad (1-3)$$

因为

$$p_{\text{总}} = \sum_i p_i = n_{\text{总}} \frac{RT}{V}$$

所以

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

式中， x_i 为某组分气体的摩尔分数。

即某组分气体的分压，等于相同温度下总压力与该组分气体摩尔分数的乘积。此定律亦称为道尔顿分压定律。

例 1-3 在 273 K 时，将相同初压的氮气 (N_2) 4.0 L 和氧气 (O_2) 1.0 L 压缩到一个容积为 2.0 L 的真空容器中，混合气体的总压为 $3.26 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。求：(1) 两种气体的初压；(2) 混合气体中各组分气体的分压；(3) 各气体的物质的量。

解：(1) 设两种气体的初压为 p ，由 $p_1 V_1 = p_2 V_2$ 得

$$p = \frac{2.0 \text{ L} \times 3.26 \times 10^5 \text{ Pa}}{(4.0 + 1.0) \text{ L}} = 1.3 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$(2) \quad p(\text{N}_2) = \frac{4}{5} \times 3.26 \times 10^5 \text{ Pa} = 2.61 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$p(\text{O}_2) = \frac{1}{5} \times 3.26 \times 10^5 \text{ Pa} = 6.52 \times 10^4 \text{ Pa}$$

(3) 根据理想气体状态方程 $pV = nRT$ ，则混合气体中 N_2 的物质的量为

$$n(\text{N}_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{2.61 \times 10^5 \text{ Pa} \times 2.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 273 \text{ K}} = 0.23 \text{ mol}$$

O_2 的物质的量为

$$n(\text{O}_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{6.52 \times 10^4 \text{ Pa} \times 2.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 273 \text{ K}} = 0.057 \text{ mol}$$

1.2 溶液

溶液由溶质和溶剂组成。水是最常见的溶剂，本节主要介绍液体溶液中的水溶液，简称溶液。溶液不但在化学反应中，而且在生命过程和自然界中都极为重要。此外，科学研究和工农业生产也都与溶液密不可分。因此，研究溶液的性质及物质在溶液中的形式具有重要意义。

1.2.1 溶液的组成标度

溶液的性质常与溶液中溶质和溶剂的相对含量，即与溶液的组成有关。溶液组成的表示方法有许多，在此我们仅介绍化学上常用的几种表示方法，如物质的量浓度、质量摩尔浓度、摩尔分数、质量分数。

(1) 溶质 B 的物质的量浓度 溶质 B 的物质的量浓度是指溶质 B 的物质的量除以溶液的体积。在不致引起混淆的情况下“浓度”一词专指 B 物质的“物质的量浓度”。物质的量浓度用符号 c_B 表示：

$$c_B = \frac{n_B}{V} \quad (1-5)$$

式中， n_B 为物质 B 的物质的量，SI 单位为 mol； V 为溶液的体积，SI 单位为 m^3 。物质的量浓度的 SI 单位为 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ ，常用单位为 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。在使用物质的量浓度时必须注明物质的基本单元。其基本单元可以是分子、原子、离子、电子及其他粒子或这些粒子的特定组合。如 H_2SO_4 、 H^+ 、 $\frac{1}{2} \text{H}_2\text{SO}_4$ 等都可作为基本单元。例如， $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的硫酸与 $c\left(\frac{1}{2} \text{H}_2\text{SO}_4\right) =$

0.10 mol · L⁻¹的硫酸两个溶液，它们浓度数值虽然相同，但是，它们所表示 1 L 溶液中所含 H₂SO₄ 的质量是不同的，分别为 9.8 g 与 4.9 g。

(2) 溶质 B 的质量摩尔浓度 溶液中溶质 B 的物质的量除以溶剂的质量，称为溶质 B 的质量摩尔浓度。溶质 B 的质量摩尔浓度用 b_B 表示：

$$b_B = \frac{n_B}{m_A} \quad (1-6)$$

式中， n_B 为溶质 B 的物质的量，SI 单位为 mol； m_A 为溶剂的质量，SI 单位为 kg。质量摩尔浓度的 SI 单位为 mol · kg⁻¹。

(3) 溶质 B 的摩尔分数 溶质 B 的物质的量与混合物的物质的量之比，称为 B 的摩尔分数，又称为 B 的物质的量分数。B 的摩尔分数用 x_B 表示：

$$x_B = \frac{n_B}{\sum_i n_i} \quad (1-7)$$

式中， n_B 为 B 的物质的量，SI 单位为 mol； $\sum_i n_i$ 为混合物的物质的量，SI 单位为 mol。摩尔分数的 SI 单位为 1。

对于一个两组分的溶液系统来说，溶质的物质的量分数 x_B 与溶剂的物质的量分数 x_A 分别为

$$x_B = \frac{n_B}{n_A + n_B}, \quad x_A = \frac{n_A}{n_B + n_A}$$

所以

$$x_A + x_B = 1$$

若将这个关系推广到任何一个多组分系统中，则有 $\sum_B x_B = 1$ 。

(4) 溶质 B 的质量分数 B 的质量与混合物质量之比，称为 B 的质量分数。B 的质量分数用 w_B 表示：

$$w_B = \frac{m_B}{\sum_i m_i} \quad (1-8)$$

式中， m_B 为 B 的质量，SI 单位为 kg； $\sum_i m_i$ 为混合物质量，SI 单位为 kg。质量分数的 SI 单位为 1。

例 1-4 在 298 K 时，质量分数为 9.5% 的 H₂SO₄ 溶液，其密度 $\rho = 1.060 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。求：(1) H₂SO₄ 的物质的量浓度；(2) H₂SO₄ 的质量摩尔浓度；(3) H₂SO₄ 的摩尔分数。

解：已知 $M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ， $M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

(1) H₂SO₄ 的物质的量浓度

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{n(\text{H}_2\text{SO}_4)}{V(\text{溶液})} = \frac{m(\text{溶液}) \times w(\text{H}_2\text{SO}_4) / M(\text{H}_2\text{SO}_4)}{m(\text{溶液}) / \rho(\text{溶液})}$$