



教育部高等农林院校理科基础课程  
教学指导委员会推荐示范教材

# 普通化学

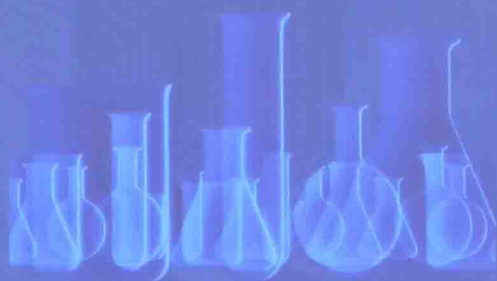
H

● 孙英 卜平宇 主编

General Chemistry

General Chemistry

General Chemistry



中国农业大学出版社

ZHONGGUONONGYEDAXUE CHUBANSHE



教育部高等农林院校理科基础课程  
教学指导委员会推荐示范教材

# 普通化学

H

● 孙英 卜平宇 主编



中国农业大学出版社

ZHONGGUONONGYEDAXUE CHUBANSHE

## 图书在版编目(CIP)数据

普通化学/孙英,卜平宇主编. —北京:中国农业大学出版社,2009.9  
ISBN 978-7-81117-767-1

I. 普… II. ①孙… ②卜… III. 普通化学-高等学校-教材 IV. O6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 080598 号

书 名 普通化学

作 者 孙 英 卜平宇 主编

策划编辑 魏秀云 董夫才

责任编辑 王艳欣 洪重光 冯雪梅

封面设计 郑 川

责任校对 陈 莹 王晓凤

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路2号

邮政编码 100193

电 话 发行部 010-62731190,2620

读者服务部 010-62732336

编辑部 010-62732617,2618

出 版 部 010-62733440

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

e-mail: cbsszs @ cau.edu.cn

经 销 新华书店

印 刷 北京时代华都印刷有限公司

版 次 2009年9月第1版 2009年9月第1次印刷

规 格 787×1092 16开本 18.25印张 430千字 插页1

定 价 28.50元

图书如有质量问题本社发行部负责调换

## 编写委员会

主 编 孙 英 卜平宇

副 主 编 (按姓氏拼音排序)

敖特根 陈媛梅 杜慧玲 付 颖 韩春平 胡晓娟  
李子荣 曲宝涵 王红梅 赵海香 赵茂俊

编写人员 (按姓氏拼音排序)

阿 娟 敖特根 卜平宇 陈媛梅 程年寿 丁立军  
杜慧玲 杜士杰 付 颖 高 爽 郭继虎 韩春平  
胡晓娟 惠 妮 李子荣 孟 磊 曲宝涵 孙 英  
王红梅 张 莉 赵海香 赵茂俊 郑其格

主 审 赵士铎

教育部高等农林院校理科基础课程教学指导委员会  
推荐示范教材编审指导委员会

主任 江树人

副主任 杜忠复 程备久

委员(以姓氏笔画为序)

王来生 王国栋 方炎明 李宝华 张文杰 张良云  
杨婉身 吴 坚 陈长水 周训芳 周志强 高孟宁  
戚大伟 梁保松 曹 阳 焦群英 傅承新 林家栋

教育部高等农林院校理科基础课程教学指导委员会  
推荐化学类示范教材编审指导委员会

主任 周志强

委员(以姓氏笔画为序)

王 志 王俊儒 兰叶青 叶 非 刘文丛 李 斌  
陈长水 杜凤沛 周 杰 庞素娟 赵士铎 贾之慎  
廖蓉苏

# 出版说明

在教育部高教司农林医药处的关怀指导下,由教育部高等农林院校理科基础课程教学指导委员会(以下简称“基础课教指委”)推荐的本科农林类专业数学、物理、化学基础课程系列示范性教材现在与广大师生见面了。这是近些年全国高等农林院校为贯彻落实“质量工程”有关精神,广大一线教师深化改革,积极探索加强基础、注重应用、提高能力、培养高素质本科人才的立项研究成果,是具体体现“基础课教指委”组织编制的相关课程教学基本要求的物化成果。其目的在于引导深化高等农林教育教学改革,推动各农林院校紧密联系教学实际和培养人才需求,创建具有特色的数理化精品课程和精品教材,大力提高教学质量。

课程教学基本要求是高等学校制定相应课程教学计划和教学大纲的基本依据,也是规范教学和检查教学质量的依据,同时还是编写课程教材的依据。“基础课教指委”在教育部高教司农林医药处的统一部署下,经过批准立项,于2007年底开始组织农林院校有关数学、物理、化学基础课程专家成立专题研究组,研究编制农林类专业相关基础课程的教学基本要求,经过多次研讨和广泛征求全国农林院校一线教师意见,于2009年4月完成教学基本要求的编制工作,由“基础课教指委”审定并报教育部农林医药处审批。

为了配合农林类专业数理化基础课程教学基本要求的试行,“基础课教指委”统一规划了名为“教育部高等农林院校理科基础课程教学指导委员会推荐示范教材”(以下简称“推荐示范教材”)。“推荐示范教材”由“基础课教指委”统一组织编写出版,不仅确保教材的高质量,同时也使其具有比较鲜明的特色。

**一、“推荐示范教材”与教学基本要求并行** 教育部专门立项研究制定农林类专业理科基础课程教学基本要求,旨在总结农林类专业理科基础课程教育教学改革经验,规范农林类专业理科基础课程教学工作,全面提高教育教学质量。此次农林类专业数理化基础课程教学基本要求的研制,是迄今为止参与院校和教师最多、研讨最为深入、时间最长的一次教学研讨过程,使教学基本要求的制定具有扎实的基础,使其具有很强的针对性和指导性。通过“推荐示范教材”的使用推动教学基本要求的试行,既体现了“基础课教指委”对推行教学基本要求的决心,又体现了对“推荐示范教材”的重视。

**二、规范课程教学与突出农林特色兼备** 长期以来各高等农林院校数理化基础课程在教学计划安排和教学内容上存在着较大的趋同性和盲目性,课程定位不准,教学不够规范,必须科学地制定课程教学基本要求。同时由于农林学科的特点和专业培养目标、培养规格的不同,对相关数理化基础课程要求必须突出农林类专业特色。这次编制的相关课程教学基本要求最大限度地体现了各校在此方面的探索成果,“推荐示范教材”比较充分反映了农林类专业教学改革的新成果。

**三、教材内容拓展与考研统一要求接轨** 2008年教育部实行了农学门类硕士研究生统一入学考试制度。这一制度的实行,促使农林类专业理科基础课程教学要求作必要的调整。“推荐示范教材”充分考虑了这一点,各门相关课程教材在内容上和深度上都密切配合这一考试制度的实行。

**四、多种辅助教材与课程基本教材相配** 为便于导教导学导考,我们以提供整体解决方案的模式,不仅提供课程主教材,还将逐步提供教学辅导书和教学课件等辅助教材,以丰富的教学资源充分满足教师和学生的需求,提高教学效果。

乘着即将编制国家级“十二五”规划教材建设项目之机,“基础课教指委”计划将“推荐示范教材”整体运行,以教材的高质量和新型高效的运行模式,力推本套教材列入“十二五”国家级规划教材项目。

“推荐示范教材”的编写和出版是一种尝试,赢得了许多院校和老师的参与和支持。在此,我们衷心地感谢积极参与的广大教师,同时真诚地希望有更多的读者参与到“推荐示范教材”的进一步建设中,为推进农林类专业理科基础课程教学改革,培养适应经济社会发展需要的基础扎实、能力强、素质高的专门人才做出更大贡献。

中国农业大学出版社

2009年8月

## 内 容 提 要

本书是根据教育部高等农林院校理科基础课程教学指导委员会提出的“强化基础、改革创新、示范教材”的建设思路编写的示范教材。全书共分为5个部分12章,主要以化学物质为主线讲述物质的存在状态、物质的微观结构、物质化学变化的基本原理及其应用。主要内容包括化学热力学与动力学基础,原子结构、分子结构和配合物结构以及四大平衡等,同时为了加强学生对化学学科的全面认识,了解化学对于人类社会的作用和贡献,融入了与生命科学、环境科学、材料科学等有关的一些化学成就,并注意体现化学与农业等各专业的联系及应用,以激发学生学习兴趣,使学生对身边发生的化学现象从知其然到知其所以然。

与本书配套的还有普通化学学习指导及多媒体课件。

本书可作为高等农、林、牧、水产类各专业本科生普通化学教材。



# 前 言

普通化学(General Chemistry)是高等农业、林业、牧业、水产类院校本科生的一门概论性的重要基础课,也是一门承前启后的重要化学理论基础课。它的任务是在学生中学阶段掌握的化学知识的基础上,为后续化学课程和专业课程提供必备的化学基础知识。

2008年11月,教育部高等农林院校理科基础课程教学指导委员会(以下简称“农林基础教学指导委员会”)在北京召开的会议上重新讨论了综合性大学与高等农林院校普通化学的课程内容与教学基本要求,提出了“强化基础、改革创新、示范教材”的建设思路,据此,“农林基础教学指导委员会”组织了一批相关高等农林院校长期工作在教学与科研一线的骨干教师编写了这本示范教材。

根据普通化学在各高等农林院校教学计划中的地位和设课目的,本书总体分为5个部分,主要以化学物质为主线讲述物质的存在状态、物质的微观结构、物质化学变化的基本原理及其应用。第1部分以物质的状态为主题,对中学化学及物理的有关知识进行归纳和延伸。第2部分介绍物质的微观结构与性质,使学生了解微观粒子的基本特征和原子结构,化学键理论与分子结构、性质的关系。第3部分在讲述化学反应基本原理的基础上,使学生对宏观化学反应过程中的能量关系,化学反应方向及限度,反应速率等问题有所了解,之后在第4部分能利用这些宏观规律来认识化学变化,学会用化学平衡的观点来处理实际问题,并结合元素周期律对一些农业领域常见的元素及其化合物的结构、组成、性质及相应的变化作一些介绍,引导学生运用化学反应原理,并联系结构化学的知识,从物质的组成结构上理解和掌握元素性质及其变化规律。本书充分考虑农林各专业的培养需求以及农科生源的实际水平的个性及其延伸,为了加强学生对化学学科的全面认识,在第5部分注意融入化学对于人类社会的作用和贡献,体现化学与农业等各专业的联系及应用,以提高学生学习兴趣,使学生对身边发生的化学现象从知其然到知其所以然,并对化学的基本原理和知识有进一步的了解和认识。教师可根据授课需求在几个模块和顺序上作灵活处理。每章末特配有“本章小结”和“习题”,以利于学生对课程内容的理解,掌握重点。为激发学生学习兴趣,书中穿插有化学新知识等,以利于素质教育和启迪学生的创新思维。

参加本书编写工作的有:安徽科技学院李子荣、程年寿,北京林业大学陈媛梅,河北北方学院赵海香、杜士杰,河南农业大学胡晓娟、孟磊,东北农业大学付颖、高爽,青岛农业大学曲宝涵、惠妮,山西农业大学杜慧玲、郭继虎,沈阳农业大学卜平宇、郑其格,内蒙古农业大学敖特根、阿娟、丁立军,内蒙古民族大学韩春平,四川农业大学赵茂俊,中国农业大学孙英、王红梅、张莉。这些老师长期从事普通化学一线教学,教学经验非常丰富,而且在编写过程中大家相互交流,取长补短,受益匪浅。经各位作者的不懈努力,编写工作顺利完成,教材充分体现了“交流、合作、共享”的优势。我们希望这部示范教材能够对我国高等农林院校的化学基



础课教学改革起到积极的推动作用。但我们也知道,我们的工作仅仅是一种尝试,由于编者的水平所限,难免会有疏漏之处,还请同行专家和使用此书的同学不吝赐教,提出批评指正,我们万分感激,努力争取再版时改正。

全书由主编、副主编修改、统稿完成。中国农业大学的赵士铎教授对书稿进行把关、审定,为本书的出版付出了很多精力;中国农业大学出版社为本书的顺利和快速出版给予了大力的支持,在此一并表示衷心的感谢!

本书在编写过程中参考了许多相关参考书,在此对这些参考书的作者表示感谢。

编者

2009年6月于北京

# C 目 录

## CONTENTS

### 第 1 部分 物质的状态

第 1 章 气体和溶液 .....	3
1.1 气体 .....	3
1.2 溶液 .....	6
1.3 化学新知识 .....	18
本章小结 .....	20
习题 .....	20

### 第 2 部分 物质结构基础

第 2 章 原子结构与元素周期律 .....	25
2.1 原子与原子结构理论的发展 .....	25
2.2 微观粒子特性及其运动规律 .....	27
2.3 原子结构与元素周期律 .....	42
本章小结 .....	49
习题 .....	50
第 3 章 分子结构 .....	52
3.1 离子键理论 .....	52
3.2 共价键理论 .....	55
3.3 杂化轨道理论 .....	60
3.4 价层电子对互斥理论 .....	65
3.5 分子间力和氢键 .....	69
3.6 晶体结构简介 .....	76
本章小结 .....	79
习题 .....	79

### 第 3 部分 化学反应基本原理

第 4 章 化学热力学基础 .....	83
4.1 热力学基础知识 .....	83
4.2 热化学 .....	86

4.3 化学反应的方向 .....	90
本章小结 .....	97
习题 .....	97
<b>第5章 化学平衡</b> .....	<b>100</b>
5.1 化学平衡状态 .....	100
5.2 多重平衡原理 .....	104
5.3 化学平衡的移动 .....	105
本章小结 .....	110
习题 .....	110
<b>第6章 化学动力学基础</b> .....	<b>112</b>
6.1 化学反应速率的基本概念 .....	112
6.2 反应速率理论简介 .....	114
6.3 浓度对反应速率的影响 .....	117
6.4 温度对反应速率的影响 .....	121
6.5 催化剂对反应速率的影响 .....	124
本章小结 .....	127
习题 .....	128

### 第4部分 水溶液中的化学反应及其一般规律

<b>第7章 酸碱反应</b> .....	<b>133</b>
7.1 酸碱质子理论 .....	133
7.2 水溶液的酸碱平衡 .....	138
7.3 酸碱平衡的移动 .....	145
7.4 缓冲溶液 .....	149
7.5 无机酸碱简介 .....	154
本章小结 .....	159
习题 .....	159
<b>第8章 沉淀反应</b> .....	<b>161</b>
8.1 难溶电解质的溶度积 .....	161
8.2 溶度积规则 .....	164
8.3 沉淀的生成 .....	164
8.4 沉淀的溶解 .....	169
8.5 分步沉淀在几种常见的金属离子分离鉴定中的应用 .....	172
本章小结 .....	172
习题 .....	173
<b>第9章 氧化还原反应</b> .....	<b>175</b>
9.1 氧化还原反应的基本概念 .....	175
9.2 氧化还原反应方程式的配平 .....	176



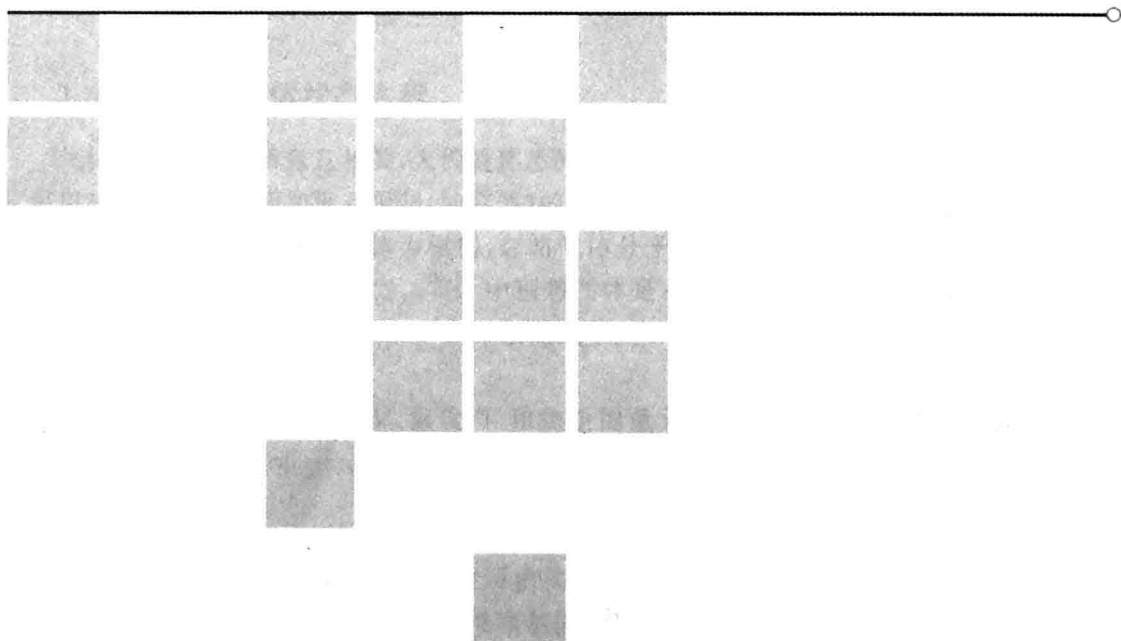
9.3 氧化还原反应与原电池 .....	178
9.4 电极电势 .....	181
9.5 能斯特(Nernst)方程及其应用 .....	183
9.6 元素电势图及其应用 .....	186
9.7 几种常见元素及其化合物的氧化还原反应及应用 .....	188
本章小结 .....	204
习题 .....	204
<b>第 10 章 配位反应 .....</b>	<b>206</b>
10.1 配位化合物的基本概念 .....	206
10.2 配位化合物的化学键理论 .....	215
10.3 配位化合物在水溶液中的稳定性和平衡 .....	219
10.4 与生物无机研究有关的配位化学原理 .....	226
本章小结 .....	227
习题 .....	228
<b>第 5 部分 化学在我们身边</b>	
<b>第 11 章 化学与生活 .....</b>	<b>233</b>
11.1 化学元素与人体健康 .....	233
11.2 丰富多彩的生活材料 .....	239
11.3 功能材料 .....	244
习题 .....	246
<b>第 12 章 化学与环境 .....</b>	<b>247</b>
12.1 大气污染及防治 .....	248
12.2 水污染及其防治 .....	254
12.3 土壤污染及其防治 .....	257
习题 .....	260
<b>附录 .....</b>	<b>261</b>
附录 I-1 SI 单位制的词头 .....	261
附录 I-2 一些非推荐单位、导出单位与 SI 单位的换算 .....	261
附录 II 常见物质的 $\Delta_f H_m^\ominus$ 、 $\Delta_f G_m^\ominus$ 和 $S_m^\ominus$ (298.15 K) .....	262
附录 III 弱酸、弱碱的离解常数 $K^\ominus$ .....	267
附录 IV 常见难溶电解质的溶度积 $K_{sp}^\ominus$ (298.15 K) .....	267
附录 V-1 酸性溶液中的标准电极电势 $\varphi^\ominus$ (298.15 K) .....	268
附录 V-2 碱性溶液中的标准电极电势 $\varphi^\ominus$ (298.15 K) .....	271
附录 VI 常见配离子的稳定常数 $K_f^\ominus$ (298.15 K) .....	272
<b>参考文献 .....</b>	<b>273</b>
<b>专业化学网站 .....</b>	<b>274</b>

第1部分

# 物质的状态

PART 1

STATES OF MATTER



在常温常压下,物质以气态、液态和固态三种聚集状态存在。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。其中气体的性质比较简单,对它的研究最早,也最透彻;其次是对固体的研究,现已形成固体物理及固体化学等分支;由于液体的性质比较复杂,人们对它的认识还很肤浅。

众所周知,许多化学反应都是在液态溶液中进行的,因此,对于溶液及溶液中物质的量的表示方法,不能不引起足够的重视。本章主要讨论气体和溶液的重要性质,具体要求如下:

- 掌握理想气体状态方程及其计算。
- 掌握道尔顿分压定律。
- 熟练掌握各种溶液的组成标度及有关计算。
- 了解非电解质稀溶液的依数性及其应用。

## 1.1 气体

### 1.1.1 理想气体状态方程

气体和我们的生活息息相关,人们最熟悉的气体莫过于空气。说到气体,人们常会想到它可以流动,可变形,假如没有限制(如容器)的话,气体可以扩散,其体积可无限膨胀。

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。

理想气体的压力  $p$ 、体积  $V$ 、温度  $T$  和物质的量  $n$  之间的关系符合理想气体状态方程(ideal gas equation of state),即

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

式中, $R$  称摩尔气体常数,其数值和单位可由实验测得:已知在标准状况( $p=101.325 \text{ kPa}$ ,  $T=273.15 \text{ K}$ )下,1 mol 理想气体的标准摩尔体积  $V_m=0.02241410 \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ ,依下式:

$$pV_m = RT \quad (1-2)$$



可得  $R = 8.3145 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = 8.3145 \text{ kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = 8.3145 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 。

**例 1-1** 收集反应中放出的某种气体进行分析,并测得在  $0^\circ\text{C}$ 、 $101.3 \text{ kPa}$  下,  $500 \text{ mL}$  此气体质量为  $0.6695 \text{ g}$ ,由化学分析发现该化合物中碳原子数与氢原子数之比为  $1:3$ 。试确定该化合物的分子式。

解:设该化合物的摩尔质量为  $M$ 。依据理想气体状态方程  $pV = nRT$ ,可得

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

$$M = \frac{mRT}{pV} = \frac{0.6695 \text{ g} \times 8.3145 \text{ kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 273.15 \text{ K}}{101.3 \text{ kPa} \times 500 \times 10^{-3} \text{ L}}$$

$$= 30.02 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

由于该化合物中碳原子数与氢原子数之比为  $1:3$ ,设该化合物的分子式为  $(\text{CH}_3)_x$ ,则

$$M = x[M(\text{C}) + 3M(\text{H})] = x[12.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} + 3 \times 1.01 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}]$$

解得  $x = 2$ ,故该化合物的分子式为  $\text{C}_2\text{H}_6$ 。

### 1.1.2 理想混合气体的分压定律

气体常以混合物的形式存在。如果混合气体中的各种气体分子本身的体积和相互作用力均可忽略不计,则称之为理想气体混合物。若多种相互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。在相同温度条件下,混合气体中各种气体单独占有混合气体的容积时所产生的压力,称为该种气体的分压力(partial press),用  $p_i$  表示。理想气体的分压力满足理想气体状态方程:

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

式中,  $n_i$  表示某种组分气体的物质的量。

1801年英国化学家道尔顿(J. Dalton)通过实验提出,混合气体的总压等于把各组分气体单独置于同一容器时所产生的分压力之和,这个规律称为道尔顿分压定律。

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \cdots = \sum_i p_i \quad (1-4)$$

道尔顿分压定律只适用于理想气体,实际气体在低压和高温下,可以近似使用。

根据式(1-3)和式(1-4)可知:

$$p = \sum_i p_i = \sum_i n_i \frac{RT}{V} = n \frac{RT}{V} \quad (1-5)$$

式中,  $n$  为混合气体总的物质的量。结合式(1-3)和式(1-5),可得: