



普通高等教育农业部“十三五”规划教材



全国高等农林院校“十三五”规划教材


WUJI JI FENXI HUAXUE



# 无机及 分析化学

第三版

赵茂俊 王仁国 ◎ 主编

 中国农业出版社

普通高等教育农业部“十三五”规划教材  
全国高等农林院校“十三五”规划教材

# 无机及分析化学

第三版

uji ji fenxi huaxue

赵茂俊 王仁国 主编

中国农业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

无机及分析化学 / 赵茂俊, 王仁国主编. — 3 版.

—北京: 中国农业出版社, 2017. 8 (2018. 7 重印)

普通高等教育农业部“十二五”规划教材 全国高等  
农林院校“十三五”规划教材

ISBN 978-7-109-23260-0

I. ①无… II. ①赵… ②王… III. ①无机化学-高  
等学校-教材②分析化学-高等学校-教材 IV. ①O61  
②O65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 195252 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)

(邮政编码 100125)

责任编辑 曾丹霞

北京中兴印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所发行

2006 年 8 月第 1 版 2017 年 8 月第 3 版

2018 年 7 月第 3 版北京第 2 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 26.75 插页: 2

字数: 630 千字

定价: 49.80 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

## 内容简介

### INTRODUCTION

本教材为普通高等教育农业部“十三五”规划教材、全国高等农林院校“十三五”规划教材。全书共分16章，内容包括分散系统、化学热力学基础、化学反应速率和化学平衡、物质结构、分析化学概述、四大平衡及滴定、电势及光度分析、重要生命元素简述等。全书阐述了无机及分析化学的基本原理及其重要的实际应用。每章附有小结、思考题、习题及英文阅读材料，习题均提供了参考答案。

本教材可作为高等农林院校有关专业的基础化学类教学的教材，也可供其他非农林类院校的广大师生参考。

## 第三版编者名单

主 编 赵茂俊 王仁国

副主编 张云松 徐春霞 周冬香

编 者 (按姓氏笔画排序)

王仁国 代先祥 印家健 李云春

吴明君 张 利 张云松 陈华萍

周冬香 赵 颖 赵茂俊 饶含兵

姜 李 徐春霞

## 第一版编者名单

主 编 王仁国

副主编 周冬香 徐春霞

编 者 (按姓氏笔画排序)

王仁国 刘希光 吴明君 宋祖伟

张 利 陈华萍 周冬香 赵茂俊

姜 李 徐春霞 崔扬健 游承干

## 第二版编者名单

主 编 王仁国 赵茂俊

副主编 周冬香 董彦莉

编 者 (按姓氏笔画排序)

王仁国 印家健 吴明君 张 利

张云松 陈华萍 周冬香 赵茂俊

姜 李 崔扬健 董彦莉 游承干

## 第三版前言

普通高等教育农业部“十二五”规划教材、全国高等农林院校“十二五”规划教材《无机及分析化学》(第二版)出版后,在四川农业大学及多所兄弟院校使用,受到广大师生的欢迎和好评。根据各学校反馈的信息和专家们的意见,以及学科的发展、时代的要求和教改的需要,本教材在第二版的基础上对其内容做了相应的充实和修订,其特点如下:

1. 本教材力求体现贴近生活、接近社会。为了把握时代脉搏,我们将当今世界关注的热点如食品安全、环境保护、绿色能源等相关内容增加到教材中,让学生从中体会到化学的重要性和实用性。

2. 当今世界已进入全球化的时代,进行国际交流,相互学习,势所必然。由于英语在国际交流上的主流性,我们在各章习题中增加了一些形式多样,具有一定深度和广度的英文习题,以利于学生开阔视野、启迪创新思维,同时也增强学生化学专业英语阅读能力。为使学生了解对化学学科的发展有着杰出贡献的著名化学家,学习他们在科学研究道路上心无旁骛、百折不回、愈挫愈奋、勇于创新的精神,在保留二版教材所列人物外,增加了对世界有着卓越贡献的著名华人科学家的简介,以增强民族自豪感,激励学生效法楷模榜样,勇攀科学高峰。

3. 随着科学技术的发展,人工智能的研发与应用,现代化分析仪器的日新月异,计算机在各个领域的广泛应用和渗透,生物学、医学、药学、环境保护等学科的研究都迈入分子水平阶段,它们的进步和提高都依赖于化学学科的发展,因为化学本身就是研究分子行为的学科,近年来与其相关的诺贝尔奖即是最好的佐证。任何科学技术都是双刃剑,化学虽然给人类带来了前所未有的文明,但另一方面,也造成了污染。“解铃还得系铃人”,如何从源头解决化学工业的负面作用,所谓扬汤止沸,莫如釜底抽薪,这就要求化学从微观世界出发进行分子设计,分子剪裁,使产品环境友好。在化工生产过程中力求使反应一步完成,做到零污染、零排放,要达到此目的,必须对微观世界的物质结构有全面深刻的了解,千里之行,始于足下,这即是本教材加强了物质结构内容编



写的目的和初衷。

4. 为使描述简明扼要，仍然沿用第一、二版中所用的有关符号，即用相对浓度  $c_r$  代替  $c/c^\ominus$ ，平衡浓度用方括号 “[ ]” 表示，相对平衡浓度用 “[ ]<sub>r</sub>” 代替 “[ ]/ $c^\ominus$ ”；条件电极电势用  $\varphi'$  代替  $\varphi^{\ominus'}$ ；对于方程式中离子在水溶液略去 (aq)，如  $B^{n+}(\text{aq})$  简写为  $B^{n+}$ ，但气体的水溶液为避免混淆必须标明，如  $O_2(\text{aq})$  中的 (aq) 不能省略。

本教材凡带“\*”的小字体者，教师讲授时可根据需要取舍。

本教材采用国际单位制 (SI) 和 IUPAC (国际纯粹与应用化学联合会) 推荐使用的符号。

全教材共分 16 章，由上海海洋大学、河北农业大学和四川农业大学等院校共同编写。参加编写的人员为：周冬香 (第十四、十五章)、徐春霞 (第五、八、九章)、张云松 (第一章)、王仁国 (第二章)、赵颖 (第三章)、饶含兵 (第四章原子结构部分)、李云春 (第四章分子结构部分)、姜李 (第六章)、代先祥 (第七章)、张利 (第十章)、吴明君 (第十一章)、赵茂俊 (第十二章)、陈华萍 (第十三章)、印家健 (第十六章)。全书由赵茂俊、王仁国定稿。

编写过程中承蒙各兄弟院校化学系全体同仁的鼎力协助，甄铎老师、王显祥老师就教材提出了建设性的意见，刘勇老师参与了大量的稿件整理工作，在此一并表示感谢。由于编者水平有限，书中难免存在欠妥之处，敬请读者批评指正。

编者

2017 年 3 月

# 第一版前言

本书是为高等农林院校大一学生无机及分析化学课程而编写的一本化学基础类教材。遵循全国高等农林院校“十一五”规划教材的编写要求，以教育部制定的普通高等学校无机及分析化学的教学大纲为依据，并结合高等农林院校学生的培养目的和实际，顺应教学改革形势的需要，本着“宽口径、厚基础”的培养人才的目标，因材施教，有的放矢，不刻意追求体系的系统化，内容上精简经典，简介前沿。够用、实用、贴近生物科学的实际是本书编写的宗旨。

化学是一门中心科学，它对其他学科的深入发展，犹如空气和水对于人类一样必不可缺。科学技术的进步，学科之间的相互渗透和相互交融已是不争的事实，传统的无机化学与分析化学合二为一，避免了不必要的重复，体现了优化组合、节约学时的优点。本书在四大平衡（酸碱电离平衡、沉淀溶解平衡、氧化还原平衡、配位平衡）各章后紧跟对应的滴定的章节，内容有机衔接，便于教学。

本书编者在参考了国内外教材的基础上，力求概念表述准确，内容深入浅出，简明扼要，与时俱进，有所创新，主要表现在以下几点：

(1) 为避免在标准平衡常数的表达式中繁冗的标准浓度  $c^\ominus$  的出现，又不失其严谨性，我们用相对浓度  $c_r$  代替  $c/c^\ominus$ ，平衡时浓度用方括号“[ ]”表示，相对平衡浓度用“[ ]<sub>r</sub>”代替“[ ]/ $c^\ominus$ ”。

(2) 由于大一学生刚刚跨入大学校门，在此适应性的过渡教学期间，为有利于学生掌握繁多的课程内容，本书在每章末均提纲挈领地进行了小结，以期达到要求明确、重点突出的目的。另外，习题的解答是加深学生对授课内容知识的掌握和运用必不可缺的重要手段之一，因此编者对每章的思考题和习题本着贴近实际、以基本为主、循序渐进的原则进行了精选，其中习题附有参考答案，使学生及时判断正误。

(3) 化学是一门实验科学，在无机及分析化学的教学中，分析部分是实践性强、实用性高的内容，在实验中进行讲授，可达到事半功倍的效果，因此，课程中遵循少讲多练的原则来进行内容处理。由于有些专业对课程内容的要求

不尽相同，本书凡带“\*”的小字体者，教师讲授时可根据需要取舍。

(4) 能源危机并非危言耸听，当今世界已探明化石燃料石油贮量仅能满足几十年的需求而即将告罄。其他天然气、煤炭也仅够维持一两百年的光景。寻求新能源是当前的热点，其中核能的开发和利用正在我国积极地进行，因此本教材特增加了原子核化学简介一章以适应社会的发展和要求。

(5) “他山之石，可以攻玉”，为借鉴别人的先进经验，为我所用，本教材尽抛砖引玉之力，在有关章节选编了一些著名化学家的英文小传，在“化学之窗”栏目中推出了与生命科学有关的化学英文阅读材料，以期能提高学生的英文阅读能力。

本教材采用国际单位制(SI)单位和IUPAC(国际纯粹与应用化学联合会)推荐使用的符号。

全书共分十八章，由上海水产大学、河北农业大学水产学院、莱阳农学院和四川农业大学等四所兄弟院校共同编写。编写人员为：周冬香(第十四、十五章)、徐春霞(第五、八、九章)、刘希光(第一章)、宋祖伟(第十八章)、游承干(第三章)、赵茂俊(第四章第四至八节、第十二章)、张利(第四章第一至三节、第十章)、吴明君(第十一、十六章)、陈华萍(第十三章)、姜李(第六章)、崔扬健(第七章)、王仁国(第二、十七章)。全书由王仁国、游承干、赵茂俊统稿。

自确定编写大纲以来，承蒙各兄弟院校的鼎力相助，各参编老师的戮力同心，才使编写工作顺利完成。在编写过程中，四川大学胡长伟教授提出了许多宝贵意见，四川农业大学无机化学教研室的教师代先祥、陈丁龙、张云松、赵颖、王显祥等在校对稿件、习题解答方面做了大量的工作，借此机会特表鸣谢。

由于时间仓促，学术水平有限，挂一漏万以及错误之处在所难免，敬请读者不吝赐教，幸甚。

编 者

2006.6

## 第二版前言

全国高等农林院校“十一五”规划教材《无机及分析化学》第一版自2006年出版以来，已先后印刷6次，对于使用中发现问题及新增的内容通过重印已进行了小幅的修改。值此进行修订的机会，广泛吸收了各兄弟院校师生的宝贵意见，按照高等农林院校基础化学教学大纲的精神，适应农业院校招生规模的扩大及专业设置多元化的现状，在第一版的基础上对教材进行了以下几方面的修改：

(1) 为了避免与其他教材的重复，缩小篇幅、充分利用有限的学时，删去了第一版第十六章（试样分析中常用的分离方法简介）和第十八章（原子核化学简介）的内容。

(2) 由于物质结构的重要性日益显现，充实和加强了这方面的内容。对与生活 and 生产实际联系密切，又与生物科学息息相关的第一章（分散系统）也进行了充实、完善和提高。

(3) 为使描述简明扼要，坚持沿用第一版中所用浓度的有关符号，即用相对浓度  $c_r$  代替  $c/c^\ominus$ ，平衡时浓度用方括号“[ ]”表示，相对平衡浓度用“[ ]<sub>r</sub>”代替“[ ]/ $c^\ominus$ ”。条件电极电势仍用  $\varphi'$  代替  $\varphi^\ominus$ 。对于方程式中离子在水溶液略去 (aq)，如  $B^{n+}(aq)$  简写为  $B^{n+}$ ，但气体的水溶液为避免混淆必须标明，如  $O_2(aq)$  中的 (aq) 不能省略。

(4) 强调了分析浓度和平衡浓度的概念，增加了一些具有启发性和开阔视野的习题。

(5) 由于中学化学教材平台的变化，因此，教材各章的内容也做了相应调整，以期有机衔接，承前启后。

本教材采用国际单位制 (SI) 和 IUPAC (国际纯粹和应用化学联合会) 推荐使用的符号。全书共分 16 章，由上海水产大学、河北农业大学和四川农业大学等兄弟院校共同编写。其中参加修订编写的人员为：周冬香（第十四、十五章）、董彦莉（第五、八、九章）、张云松（第一章）、王仁国（第二章）、

游承干（第三章）、赵茂俊（第四章分子结构部分、第十二章）、张利（第四章原子结构部分、第十章）、姜李（第六章）、崔扬健（第七章）、吴明君（第十一章）、陈华萍（第十三章）、印家健（第十六章）。全书由王仁国、赵茂俊定稿。

编写过程中承蒙各兄弟院校化学教研室全体同仁的鼎力协助，并对甄铎老师就教材提出的建设性意见表示感谢。对于书中遗漏和不足之处，敬请读者批评指正。

编者

2012.3

# 目 录

第三版前言

第一版前言

第二版前言

第一章 分散系统 .....	1
第一节 溶液 .....	2
一、物质的量及其单位 .....	2
二、物质的量浓度 .....	3
三、质量摩尔浓度 .....	4
四、摩尔分数 .....	4
五、质量分数 .....	4
六、几种溶液浓度度量方法之间的关系 .....	5
* 七、ppm、ppb、ppt 和 $PM_{2.5}$ 的英文全称及原义 .....	5
第二节 稀溶液的依数性 .....	6
一、溶液的蒸气压下降 .....	6
二、溶液的沸点上升和凝固点下降 .....	9
三、溶液的渗透压 .....	12
* 四、电解质溶液的依数性 .....	15
第三节 胶体溶液 .....	17
一、分散度与界面吸附 .....	17
二、溶胶的性质 .....	20
三、溶胶粒子带电的原因 .....	21
四、胶团结构 .....	22
五、溶胶的稳定性和凝结 .....	23
第四节 高分子溶液和乳浊液 .....	24
一、高分子溶液 .....	24
二、表面活性物质 .....	26
三、乳浊液 .....	26
◆ 本章小结 .....	27
◆ 著名化学家小传 .....	28

◆化学之窗 .....	28
◆思考题 .....	28
◆习题 .....	29
<b>第二章 化学热力学基础</b> .....	<b>32</b>
<b>第一节 基本概念</b> .....	<b>32</b>
一、几种热力学系统 .....	32
二、状态和状态函数 .....	33
三、过程与途径 .....	34
四、热和功 .....	34
五、热力学能 .....	35
<b>第二节 化学反应的热效应</b> .....	<b>35</b>
一、热力学第一定律和等容反应热 .....	35
二、等压反应热和焓 .....	36
三、反应进度 .....	37
* 四、等容反应热与等压反应热的关系 .....	38
<b>第三节 标准反应热</b> .....	<b>39</b>
一、热化学方程式 .....	39
二、热化学定律(盖斯定律) .....	40
三、标准反应热的计算 .....	41
<b>第四节 化学反应的自发性和熵</b> .....	<b>46</b>
一、化学反应的自发性 .....	46
二、熵判据 .....	46
三、自由能判据 .....	47
<b>第五节 化学反应标准熵变的计算</b> .....	<b>49</b>
一、物质的标准熵 .....	49
二、化学反应熵变的计算 .....	50
<b>第六节 化学反应标准自由能变的计算</b> .....	<b>51</b>
一、从反应的 $\Delta_r H_m^\ominus$ 和 $\Delta_r S_m^\ominus$ 计算 .....	51
二、从若干已知反应的 $\Delta_r G_m^\ominus$ 计算 .....	51
三、从标准摩尔生成自由能 $\Delta_f G_m^\ominus$ 计算 .....	51
* 四、生化反应的自由能变 .....	52
◆本章小结 .....	53
◆著名化学家小传 .....	54
◆化学之窗 .....	54
◆思考题 .....	55
◆习题 .....	55

<b>第三章 化学反应速率和化学平衡</b> .....	59
<b>第一节 化学反应速率的表示方法和反应机理</b> .....	59
一、化学反应速率的表示方法 .....	59
二、反应机理 .....	60
<b>第二节 化学反应速率理论</b> .....	61
一、碰撞理论 .....	61
* 二、过渡态理论简介 .....	62
<b>第三节 浓度对化学反应速率的影响</b> .....	63
一、质量作用定律 .....	63
二、反应级数 .....	65
三、一级反应速率方程的积分式 .....	66
<b>第四节 温度对化学反应速率的影响</b> .....	66
<b>第五节 催化剂对化学反应速率的影响</b> .....	69
一、催化剂和催化作用 .....	69
二、催化剂的特性 .....	69
三、均相催化和多相催化 .....	70
四、酶催化 .....	71
<b>第六节 可逆反应与化学平衡</b> .....	72
一、分压定律 .....	72
二、可逆反应与化学平衡 .....	73
三、平衡常数 .....	74
四、化学反应等温方程式 .....	77
<b>第七节 化学平衡的移动</b> .....	80
一、浓度对平衡的影响 .....	80
二、压力对平衡的影响 .....	81
三、温度对平衡的影响 .....	83
* <b>第八节 生物化学标准平衡常数</b> .....	85
◆ 本章小结 .....	86
◆ 著名化学家小传 .....	86
◆ 化学之窗 .....	87
◆ 思考题 .....	88
◆ 习题 .....	88
<b>第四章 物质结构</b> .....	92
<b>第一节 核外电子运动模型的建立</b> .....	92
<b>第二节 核外电子的运动特征</b> .....	94
一、电子的波粒二象性 .....	94
二、电子运动的统计性 .....	95



三、量子化 .....	96
第三节 核外电子运动状态的描述 .....	96
一、微观粒子的波动方程——薛定谔方程 .....	96
二、四个量子数 .....	98
三、核外电子运动状态的图形描述 .....	99
第四节 核外电子排布和元素周期系 .....	103
一、多电子原子能级 .....	103
二、屏蔽效应和钻穿效应 .....	104
三、核外电子的排布规律 .....	105
四、原子核外电子的排布 .....	106
五、原子的电子层结构与元素周期表 .....	108
六、元素基本性质的周期性 .....	109
第五节 离子化合物 .....	114
一、离子键的形成和性质 .....	115
二、离子的结构 .....	116
三、晶格能 .....	117
第六节 共价化合物 .....	118
一、共价键的形成与本质 .....	118
二、价键理论 (VB法) 基本要点 .....	118
三、共价键的类型 .....	120
四、键参数 .....	120
第七节 杂化轨道理论 .....	121
一、杂化轨道理论的基本要点 .....	121
二、杂化轨道类型与分子空间构型 .....	122
第八节 价层电子对互斥理论 .....	125
一、中心价层电子对数 .....	126
二、电子对数和电子对空间构型的关系 .....	126
三、分子构型和电子对空间构型的关系 .....	127
四、影响键角的因素 .....	129
第九节 分子的极性、分子间作用力和氢键 .....	130
一、分子的极性 .....	130
二、分子的变形性 .....	130
三、分子间力 .....	131
四、氢键 .....	133
第十节 晶体结构简介 .....	136
一、离子晶体 .....	136
二、原子晶体 .....	137
三、分子晶体 .....	137
四、金属晶体 .....	138