



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




“十三五”江苏省高等学校重点教材 (编号: 2017-1-045)

# 无机及分析化学

第三版

兰叶青 主编

WUJI JI  
FENXI  
HUAXUE

 中国农业出版社

普通高等教育农业农村部“十三五”规划教材  
全国高等农林院校“十三五”规划教材  
“十三五”江苏省高等学校重点教材(编号:2017-1-045)

# 无机及分析化学

第三版

兰叶青 主编

中国农业出版社  
北京

图书在版编目 (CIP) 数据

无机及分析化学/兰叶青主编. —3版. —北京:  
中国农业出版社, 2019. 8

普通高等教育农业农村部“十三五”规划教材 全国  
高等农林院校“十三五”规划教材 “十三五”江苏省高等  
学校重点教材

ISBN 978-7-109-25494-7

I. ①无… II. ①兰… III. ①无机化学-高等学校-  
教材②分析化学-高等学校-教材 IV. ①O61②O65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 088727 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼) 北京 100026  
(邮政编码 100125) 中国 ISBN 中心

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

2009 年 8 月第 1 版 2019 年 8 月第 3 版

2019 年 8 月第 3 版北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 23.5 插页:

字数: 550 千字

定价: 48.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

## 内容简介

本书共分 14 章,包括化学基本原理、物质结构、化学平衡、滴定分析、仪器分析简介、常用的分离与富集方法选介、生命元素化学知识等内容。在各章内容介绍中,力求与农、林、水各专业的教学需求和实际应用相结合,体现化学在农业生命科学中的重要性及其作用。本书是在普通高等教育农业部“十二五”规划教材《无机及分析化学》(第二版)基础上修订的,是普通高等教育农业农村部“十三五”规划教材、全国高等农林院校“十三五”规划教材、“十三五”江苏省高等学校重点教材和江苏省高等学校精品课程“无机及分析化学”配套教材。

本书既可作为农、林、水类高等院校各专业和其他院校生物学、环境学类专业本科生教材,也可供相关专业的老师和科研人员参考。

## 第三版编写人员名单

主 编 兰叶青

副主编 田 超 谢红伟 王修中 吕 波

编 者 (按姓氏笔画排序)

丁 霞 王文保 王修中 孔祥平

田 超 兰叶青 吕 波 李子荣

李 瑛 杨 婷 耿金龙 徐峙晖

高雯霞 谢红伟

## 第一版编审人员名单

主 编 兰叶青

副主编 田 超 谢红伟 吕 波 戚邦华

编 者 (按姓氏笔画排序)

丁 霞 王文保 田 超 兰叶青

吕 波 李子荣 杨 婷 耿金龙

徐峙晖 高雯霞 戚邦华 谢红伟

主 审 杜凤沛 杨明敏

## 第二版编审人员名单

主 编 兰叶青

副主编 田 超 谢红伟 王修中 吕 波

编 者 (按姓氏笔画排序)

丁 霞 王文保 王修中 孔祥平

田 超 兰叶青 吕 波 李子荣

李 瑛 杨 婷 耿金龙 徐峙晖

高雯霞 谢红伟

主 审 杜凤沛

# 第三版前言 ◀

《无机及分析化学》(第三版)是普通高等教育农业农村部“十三五”规划教材、全国高等农林院校“十三五”规划教材和“十三五”江苏省高等学校重点教材,也是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)的修订版。

本书自2009年出版以来,经南京农业大学、安徽农业大学、贵州大学、青岛农业大学等学校的农学、食品科学与工程以及生物类等相关专业学生的多年使用,反映良好。本教材在编写方面尽量介绍无机及分析化学有关内容在农学和生物类相关专业中的实际应用。因此,本书具有较鲜明的农林院校基础化学教材的特色,教材的质量得到了相关专家的认可。本教材自出版以来,先后3次被中华农业科教基金会评为全国高等农业院校优秀教材,被江苏省教育厅列为江苏省高等学校精品教材和江苏省精品课程的配套教材。

本次教材编写中,我们收集了学生和有关教师对该书的意见和书中的不足之处,进行了认真的讨论和修改,并考虑到原教材中没有分离与富集方法的介绍,在此次修订中增加了“常用的分离与富集方法选介”一章。在实际的定量分析中,常遇到组成比较复杂或含量十分低的试样,测定时各组分之间往往发生相互干扰,这不仅影响分析结果的准确性,有时甚至无法进行测定,或者因为目标物浓度太低,低于分析方法的检测下限,从而无法实现直接测定。因此,必须选择适当的方法来消除其干扰或通过富集提高目标物的浓度。所以,在现代的《无机及分析化学》教材中很有必要增加分离与富集方法的介绍,使教材的系统性更完善。

本书中标有\*的章节,由教师根据课时和专业需要酌情选择。

参加本版修订的有:贵州大学高雯霞(第一章)和谢红伟(第六章),安徽农业大学田超(第二章)和王文保(第十章),青岛农业大学王修中(第五章)和孔祥平(第七章),安徽科技学院李子荣(第三章),以及南京农业大学吕波(第四章)、耿金龙(第八章)、徐峙晖(第九章)、杨婷(第十一章)、丁霞(第十二和十三章)和李瑛(第十四章)。全书由南京农业大学兰叶青教授统稿、定稿。

本次再版虽对前版进行了认真的修改,但限于编者水平,错漏之处仍然在所难免,恳请读者提出批评指正。

我们感谢广大读者对本书提出的宝贵意见和建议,感谢中国农业出版社和参与编写单位的教务处多年来对本书出版的大力支持和关心,感谢曾参加本书前两版相关章节编写的老师。编写中编者参考了已出版的相关教材,并引用了其中一些图和表,主要参考文献列于书后,在此一并说明并致以最衷心的感谢!

编者

2019年5月于南京

# 第一版前言 ◀

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材，也是“2009年江苏省高等学校立项精品教材”。主要内容包括化学基本原理、物质结构、化学平衡、滴定分析、仪器分析、生命元素化学知识等。它适用于农林院校有关专业的教学，也可作为综合性大学和师范院校生物系以及医学、轻工和水产等院校师生的参考用书。

教材的编写应体现科学技术的发展和时代的需要，应注重学生综合素质、自学能力的培养以及教学效率的提高。虽然目前许多高等农林院校已将原来的两门独立的无机化学和分析化学课程整合成为一门课，但受习惯的影响，在教材编写或在教学过程中无机与分析化学内容仍相对独立，造成了部分内容重复介绍和化学平衡理论与滴定分析相脱节的现象。本教材是根据教育部面向21世纪高等学校教学改革的精神，并结合农林院校各有关专业多年教学实践经验组织编写的。编者力求使本教材具有较高的科学性、系统性、时代性，反映化学在农业、生命科学中的重要性 and 作用。与其他同类教材相比，本教材有以下特点：

(1) 将无机化学中的四大平衡原理与分析化学中相应的滴定分析内容自然、有机地整合，避免重复，提高教学效率。

(2) 增加了离子吸附、表面活性物质知识的介绍，反映了化学在环境、食品、植物保护等方面的应用。

(3) 将四个量子数提至波函数与电子云图像之前进行介绍，使内容衔接更自然、合理。

(4) 在物质结构中增加了价层电子对互斥理论知识介绍，提高学生对物质空间结构及分子极性的判断力。

(5) 在瞬时速率的求解中引入了Excel作图软件拟合动力学曲线再微分的新方法。

(6) 介绍元素化学知识时是以区为线索，注重介绍重要的生命化学元素的性质、化合物以及其生物效应，体现高等农林院校化学课的特色，加强与专业知识的联系，提高学生学习化学的兴趣。

(7) 主要专业名词辅以英文表述，以帮助教师和学生打下阅读专业英文书刊的基础和一定程度上满足双语教学的需要。

本书中标有\*的章节，由教师根据课时和专业需要酌情选择。

参加本书编写的有贵州大学高雯霞(第一章)和谢红伟(第六章)，安徽农业大学田超(第二章)和王文保(第五章、第十章)，安徽科技学院李子荣(第三章)和戚邦华(第七章)，南京农业大学吕波(第四章)、耿金龙(第八章)、徐峙晖(第九章)、杨婷(第十一章)、丁霞(第十二章)和兰叶青(第十三章)。全书由兰叶青统稿。

教材组织编写过程中得到了中国农业出版社及南京农业大学教务处有关领导的大力支持

持,在此表示最诚挚的谢意!东北农业大学的冯志彪、邵铁华老师以及南京农业大学的黄克明老师对本教材的编写提供了很大帮助,中国农业大学杜凤沛教授和南京农业大学杨明敏教授在百忙之中审阅了全稿,并提出了许多宝贵意见,在此也向他们表示衷心的感谢!

在教材编写过程中,编者参考了已出版的相关教材,并引用了其中的一些数据、图和表,主要参考文献列于书后,在此说明并致以最衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中不尽完善之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2009年3月于南京

## 第二版前言 ◀

本书是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，也是普通高等教育“十一五”国家级规划教材、全国高等农林院校“十一五”规划教材以及“2011年江苏省高等学校精品教材”的修订本。

本书第一版于2009年出版，经过五届南京农业大学、安徽农业大学和贵州大学等学校的农学、食品科学与工程以及生物类等相关专业学生的使用，反映良好，认为教材文字通顺，章节内容之间衔接自然、合理，便于课堂教学和学生自学。在基础理论方面，理论和概念阐述清楚，通俗易懂；在元素化学方面，内容适量并结合农学和生物类相关专业的实际。因此，本书是高等农林院校农学和生物类学科学生较为理想的课堂教学用书或参考用书。

在近五年的教学实践过程中，我们认真收集了学生和有关教师对该书的使用意见，也与后续有关课程的教师进行了多次讨论和磋商。在此基础上，我们于2013年9月在南京农业大学召开了本版教材的修订会议。本次修订，编者主要做了以下工作：

(1)对原书各章节进行了适当补充、调整和修改。如第一章中将分散体系分类内容提前至第二节开头，使内容衔接更流畅。第二章中增加了可逆过程的介绍，加深学生对可逆过程的理解以及与可逆反应概念的区别。第三章中对碰撞理论内容进行了较大修改，重新叙述了活化能、活化分子百分数等概念，增加了温度对气体分子能量分布的影响示意图，提高学生对温度导致反应速率变化的理解。

(2)对原书中第1~9章的习题进行了更换，题型分为选择题、填空题、简答和计算题，并适当增加了练习题目量。与原书习题相比，更换后的习题针对性更强，利于学生对所学知识的理解和掌握。习题题型与全国高等农林院校硕士研究生入学考试及本课程考试相同，目的是让学生尽早熟悉题型。

参加本次修订的有：贵州大学高雯霞(第一章)和谢红伟(第六章)，安徽农业大学田超(第二章)和王文保(第十章)，青岛农业大学王修中(第五章)和孔祥平(第七章)，安徽科技学院李子荣(第三章)，以及南京农业大学吕波(第四章)、耿金龙(第八章)、徐峙晖(第九章)、杨婷(第十一章)、丁霞(第十二章)和李瑛(第十三章)。全书由南京农业大学兰叶青教授统稿、定稿。

本次修订过程中得到了中国农业出版社及南京农业大学教务处有关领导的大力支持，在此表示最诚挚的谢意！本书编写中还得到了东北农业大学冯志彪、邵铁华，安徽科技学院戚邦华，以及南京农业大学陈辉东老师的帮助，在此也向他们表示衷心的感谢！本书参考了一些已出版的相关教材，并引用了其中的一些图和表，主要参考文献列于书后，在此说明并致



## 目 录 ◀

第三版前言	
第一版前言	
第二版前言	
<b>第一章 气体、溶液和胶体</b>	<b>1</b>
第一节 气体	1
一、理想气体	1
* 二、实际气体	3
第二节 溶液	4
一、分散体系	4
二、溶液浓度的表示方法	5
三、溶液的依数性	7
四、电解质溶液	11
第三节 胶体	13
一、溶胶的制备	13
二、溶胶的性质	13
三、胶团结构和电动电势	16
四、溶胶的稳定性与聚沉	18
五、高分子溶液	18
* 第四节 乳浊液	19
一、表面活性物质	19
二、乳浊液	20
习题	21
<b>第二章 化学热力学基础</b>	<b>23</b>
第一节 基本概念	23
一、体系和环境	23
二、状态和状态函数	24
三、过程和途径	24
四、热和功	25

五、热力学能 .....	25
第二节 热化学 .....	26
一、热力学第一定律 .....	26
二、反应热 .....	26
三、热化学方程式 .....	28
四、化学反应热的计算 .....	29
第三节 化学反应的方向 .....	33
一、化学反应的自发性 .....	33
二、熵 .....	34
三、热力学第二定律 .....	35
四、吉布斯自由能与反应方向的判据 .....	36
第四节 化学反应的限度 .....	41
一、化学反应等温式及其应用 .....	41
二、化学平衡 .....	42
三、化学平衡的移动 .....	45
习题 .....	49
<b>第三章 化学反应速率</b> .....	<b>52</b>
第一节 化学反应速率的表示方法 .....	52
一、平均速率 .....	53
* 二、瞬时速率 .....	53
第二节 反应速率理论简介 .....	55
一、反应历程 .....	55
二、碰撞理论 .....	55
三、过渡态理论 .....	57
第三节 浓度对化学反应速率的影响和速率方程 .....	58
一、基元反应速率方程的确定——质量作用定律 .....	58
二、非基元反应速率方程的确定 .....	58
三、反应级数和反应分子数 .....	60
第四节 温度对化学反应速率的影响 .....	61
第五节 催化剂对化学反应速率的影响 .....	62
一、催化剂和催化作用 .....	62
二、催化剂的特点 .....	62
三、生物催化剂——酶 .....	63
习题 .....	64
<b>第四章 物质结构简介</b> .....	<b>66</b>
第一节 微观粒子的运动特征 .....	66
一、氢原子光谱和玻尔理论 .....	67

二、微观粒子的波粒二象性	68
三、不确定原理	69
第二节 原子核外电子的运动状态	70
一、薛定谔方程	70
二、四个量子数	71
三、波函数与电子云图像	73
第三节 基态多电子原子核外电子的运动状态	77
一、屏蔽效应和穿透效应	77
二、多电子原子轨道近似能级图	78
三、核外电子排布规则	79
四、原子核外电子的排布	79
第四节 原子结构与元素周期律	81
一、核外电子排布与周期表的关系	81
二、元素基本性质的周期性	81
第五节 离子键	85
一、离子键理论的基本要点	85
二、离子的特征	86
三、离子键的强度(晶格能)	87
第六节 共价键	87
一、价键理论	87
二、杂化轨道理论	90
* 三、价层电子对互斥理论	94
第七节 分子间力和氢键	96
一、键的极性和分子的极性	96
二、分子间力	97
三、氢键	98
* 第八节 晶体结构	100
一、离子晶体	100
二、原子晶体	101
三、分子晶体	101
习题	101
<b>第五章 分析化学概论</b>	<b>103</b>
第一节 分析化学概述	103
一、分析化学的任务和作用	103
二、分析方法的分类	104
三、定量分析的一般程序	105
第二节 定量分析误差的分类及表示方法	106
一、误差的分类	106

20	二、误差的表示方法	107
60	第三节 提高分析结果准确度的方法	110
60	一、减小系统误差	110
65	二、减小随机误差	111
15	第四节 有限数据的统计处理	111
65	一、有效数字及运算规则	111
75	二、置信度与置信区间	112
75	三、可疑值的取舍	115
85	* 四、显著性检验	117
65	第五节 滴定分析法	119
65	一、滴定分析基本概念	119
16	二、滴定分析对化学反应的要求和滴定方式	120
18	三、标准溶液和基准物质	121
16	四、滴定分析法中的计算	122
26	习题	124
58	第六章 酸碱平衡与酸碱滴定法	127
58	第一节 酸碱质子理论	127
58	一、酸碱的定义	128
78	二、酸碱的强弱	128
60	第二节 酸度对弱电解质溶液中各型体浓度的影响	132
60	一、酸度对一元弱酸水溶液中各型体浓度的影响	132
60	* 二、酸度对多元弱酸水溶液中各型体分布的影响	133
64	第三节 酸碱平衡	134
58	一、质子平衡方程式	134
86	二、酸碱溶液酸碱度的计算	135
001	三、酸碱平衡的移动	140
001	第四节 缓冲溶液	141
101	一、缓冲溶液的组成和作用原理	141
101	二、缓冲溶液 pH 的计算	142
101	三、缓冲容量和缓冲范围	144
101	四、缓冲溶液的配制	144
60	第五节 酸碱滴定法	145
601	一、酸碱指示剂	145
601	二、滴定曲线及指示剂的选择	148
601	三、酸碱标准溶液的配制和标定	155
601	四、酸碱滴定法的应用	157
601	习题	159

<b>第七章 沉淀-溶解平衡与沉淀滴定法</b> .....	162
<b>第一节 难溶电解质的溶度积</b> .....	162
一、溶度积 .....	162
二、溶度积与溶解度的关系 .....	163
三、溶度积规则 .....	164
<b>第二节 沉淀的生成与溶解</b> .....	165
一、沉淀的生成 .....	165
二、分步沉淀 .....	168
三、沉淀的溶解 .....	169
四、沉淀的转化 .....	170
<b>第三节 沉淀滴定法</b> .....	171
一、莫尔法 .....	172
二、佛尔哈德法 .....	173
三、法扬司法 .....	174
习题 .....	175
<b>第八章 配位化合物与配位滴定法</b> .....	177
<b>第一节 配位化合物的基本概念</b> .....	177
一、配合物的组成 .....	177
二、配合物的命名 .....	180
三、内、外轨型配合物 .....	181
<b>第二节 配位平衡</b> .....	184
一、配离子的稳定常数 .....	184
二、影响配位平衡移动的因素 .....	186
<b>第三节 螯合物</b> .....	188
一、螯合物的形成 .....	188
二、螯合物的稳定性 .....	188
<b>第四节 配位滴定法</b> .....	189
一、EDTA 的性质及特点 .....	190
二、配离子的条件稳定常数 .....	191
三、配位滴定曲线 .....	193
四、金属指示剂 .....	196
五、提高配位滴定选择性的方法 .....	198
六、配位滴定的应用 .....	201
习题 .....	202
<b>第九章 氧化还原反应与氧化还原滴定法</b> .....	205
<b>第一节 氧化还原反应的基本概念</b> .....	205