



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

# 无机及分析化学教程

## 第二版

魏 琴 主编



科学出版社

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

# 无机及分析化学教程

(第二版)

魏 琴 主编

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。本书以培养学生综合能力和思维方法为原则,优化整合无机及分析化学的内容,结合基础化学实验教学内容,使学生对物质结构、定量分析等一些化学基本原理有较完整的认识,并能够结合基本原理理解和掌握常见的重要元素及其化合物的性质变化规律,树立量的概念。本书共 16 章,包括:绪论、原子结构与元素周期律、化学键与分子结构、定量分析的过程、误差与数据处理、酸碱反应与酸碱滴定法、配位反应与配位滴定法、氧化还原反应与氧化还原滴定法、沉淀反应与沉淀滴定法和重量分析法、s 区元素、p 区元素、ds 区元素、d 区元素、f 区元素、吸光光度法、定量分析中常用的分离方法。书后有化学窗口、参考文献和附录。

本书可作为高等学校化学、化学工程与工艺、制药工程、材料科学与工程、环境科学与工程、生物科学与工程等专业的本科生教材,也可供从事相关专业教师及科技工作者参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

无机及分析化学教程/魏琴主编. —2 版. —北京:科学出版社,2018. 8  
“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材  
ISBN 978-7-03-058403-8

I. ①无… II. ①魏… 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(2018)第 171397 号

责任编辑:丁 里 / 责任校对:何艳萍  
责任印制:师艳茹 / 封面设计:迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

三河市骏杰印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2010 年 9 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2018 年 8 月第 二 版 印张:28 插页:1

2018 年 8 月第十次印刷 字数:735 000

定价:69.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

# 《无机及分析化学教程》

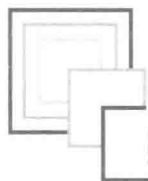
## 编写委员会

主 编 魏 琴

副主编 张振伟 吴 丹 李月云 李艳辉  
王冬梅 罗川南

编 委 (按姓名汉语拼音排序)

李 燕 李艳辉 李月云 罗川南  
王冬梅 魏 琴 吴 丹 颜 梅  
于海琴 张振伟 朱沛华



## 第二版前言

《无机及分析化学教程》被评为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材,《无机及分析化学学习指导》和“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材《无机及分析化学实验》是相应的配套教材。为了适应基础教育改革与发展的需要,编者结合多年的教学经验和使用本教材进行教学的体会,充分吸收国内同类教材的优点,并采纳兄弟院校提出的意见和建议,确定了修订《无机及分析化学教程》(第二版)的基本思路和框架结构。

在修订过程中,编者在保留第一版教材特色的基础上,强化精选教材内容,进一步加强无机化学和分析化学的紧密联系及其内容的相互衔接和连贯性,拓宽部分知识范畴,充分反映了学科发展的新成果,以适应不同层次学生的需要;转变了教育观念,更加注重能力和思维方法的培养。本书还采用双色印刷,以增强教材的可读性。

本书内容分为两大部分:

(1) 基本内容:这是课程的必备内容,不同专业的学生根据专业要求可进行灵活选择,也可供学生自学。

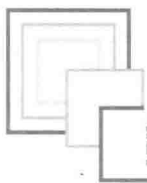
(2) 化学窗口:这是扩展内容,如诺贝尔和居里夫人、硬水的利与弊、新能源的开发等,主要用于扩大学生的知识面,开阔学生的视野,激发学生学习化学的兴趣和求知的欲望。

在本书修订过程中,得到了各兄弟院校专家的大力支持和帮助,陈艳丽教授提出了许多有益的建议和修改意见,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中仍会有疏漏和不妥之处,敬请广大师生和专家批评指正。

编者

2018年5月



## 第一版前言

无机及分析化学是化学、化学工程与工艺、制药工程、材料科学与工程、环境科学与工程、生物科学与工程等专业必不可少的一门化学基础课程。该课程的开设可为后续的有机化学、物理化学、高分子化学及其他专业课程的学习奠定基础,同时也可为解决科研中与化学有关的科学与测定技术等实际问题打好基础。

为深化高等教育改革,提高教学质量,培养适应 21 世纪社会发展需要的人才,编者结合多年的教学经验,编写了本书。本书配有《无机及分析化学学习指导》与《无机及分析化学实验》,可更好地满足相关专业的本科生和科研人员的需求。在编写过程中,本书着重体现如下几点:

(1) 力求做到知识结构布局合理,将无机化学部分和分析化学部分进行优化整合,在章节安排时,既保持了无机化学和分析化学课程的科学性与系统性,又注重了内容的相互衔接,避免了重复。

(2) 依照从易到难、循序渐进的原则安排教学内容,重点突出,注重理论联系实际,以提高学生分析问题和解决问题的能力。将四大反应平衡和相应的滴定方法编排在一起,使学生能定性、定量地掌握四类化学反应原理,体现了基础理论与应用的有机结合。

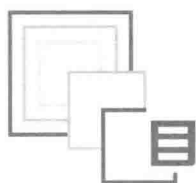
(3) 精简烦琐的数学推导,理论阐述简明扼要。各章后配有习题,使学生加深对基本概念和基本原理的进一步理解。在例题和习题的选择上,兼顾各专业的需要,内容尽量结合实际,增强学生的学习兴趣,难度适中,以适应不同层次的学生。另外,部分习题附有答案,供学生参考。

(4) “化学窗口”栏目开阔了学生学习化学的视野,增强了学生学习化学的兴趣。

本书由无机及分析化学课程组教师根据多年的教学实践经验,参考国内外相关的化学教材及论著编写而成。本书由魏琴担任主编,参加编写的有张振伟、吴丹、李月云、王冬梅、李艳辉、罗川南、李燕、朱沛华、于海琴、颜梅等,李加忠、冯季军、闫涛进行了认真校对,全书由魏琴统编定稿。

在本书的编写过程中,得到了各兄弟院校专家的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢。由于编者水平有限,书中错误和不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者  
2010 年 6 月



# 目 录

第二版前言

第一版前言

第 1 章 绪论	1
1.1 化学的重要性、研究内容和发展简史	1
1.1.1 化学的重要性及其研究内容	1
1.1.2 化学发展简史	2
1.2 无机及分析化学课程的重要性的研究内容	3
第 2 章 原子结构与元素周期律	4
2.1 原子结构的经典模型	4
2.1.1 卢瑟福的原子模型	4
2.1.2 氢原子光谱与玻尔氢原子模型	5
2.2 微观粒子运动的特殊性	7
2.2.1 光电效应与光的波粒二象性	7
2.2.2 实物粒子的波粒二象性	8
2.2.3 海森堡测不准原理	8
2.3 核外电子运动状态的量子力学模型	9
2.3.1 薛定谔方程与波函数	9
2.3.2 四个量子数与核外电子层结构	11
2.3.3 波函数(原子轨道)及概率密度函数(电子云)图	13
2.4 基态多电子原子的电子层结构	16
2.4.1 多电子原子的波函数	16
2.4.2 多电子原子轨道的近似能级图	19
2.4.3 多电子原子核外电子排布规则	20
2.5 元素周期律与元素周期表	21
2.5.1 原子电子层结构与元素周期表的关系	21
2.5.2 元素基本性质的周期性变化规律	23
习题	27
第 3 章 化学键与分子结构	29
3.1 离子键理论	29
3.1.1 离子键	29
3.1.2 晶格能	31
3.1.3 离子的特征	32
3.2 共价键理论	34
3.2.1 价键理论	34

3.2.2	杂化轨道理论	37
3.2.3	价层电子对互斥理论	41
3.2.4	分子轨道理论简介	42
3.3	金属键	46
3.3.1	金属键的改性共价键理论	47
3.3.2	金属键的能带理论	47
3.4	分子间作用力和氢键	48
3.4.1	分子的偶极矩与极化率	48
3.4.2	分子间作用力	50
3.4.3	氢键	52
3.5	晶体结构	53
3.5.1	晶体与非晶体	53
3.5.2	晶体的基本外形	53
3.5.3	离子晶体	55
3.5.4	离子极化现象	57
3.5.5	原子晶体	59
3.5.6	金属晶体	59
3.5.7	分子晶体	60
	习题	60
第4章	定量分析的过程	63
4.1	分析方法的分类与选择	63
4.1.1	分析方法的分类	63
4.1.2	分析方法的选择	65
4.2	分析试样的采集、制备与分解	65
4.2.1	分析试样的采集	65
4.2.2	分析试样的制备	67
4.2.3	分析试样的分解	68
4.3	定量分析结果的表示	71
4.3.1	待测组分的化学表示形式	71
4.3.2	待测组分含量的表示方法	71
4.4	滴定分析法概述	72
4.4.1	概述	72
4.4.2	滴定方式	72
4.4.3	基准物质和标准溶液	73
4.4.4	滴定分析法的计算	75
	习题	77
第5章	误差与数据处理	79
5.1	定量分析误差	79
5.1.1	误差的分类	79
5.1.2	准确度与误差	80



5.1.3	精密度与偏差	81
5.1.4	准确度和精密度	82
5.1.5	提高分析结果准确度的方法	83
5.2	分析数据的统计处理	84
5.2.1	随机误差的正态分布	84
5.2.2	有限数据的统计处理	85
5.2.3	显著性检验	87
5.2.4	可疑值的取舍	90
5.3	有效数字及其运算	92
5.3.1	有效数字	92
5.3.2	有效数字的修约规则	93
5.3.3	运算规则	93
	习题	94
第6章	酸碱反应与酸碱滴定法	96
6.1	酸碱理论概述	96
6.1.1	酸碱电离理论	96
6.1.2	酸碱溶剂理论	97
6.1.3	酸碱质子理论	97
6.1.4	酸碱电子理论	100
6.1.5	软硬酸碱理论	101
6.2	强电解质溶液	101
6.2.1	离子氛和离子强度	101
6.2.2	活度和活度系数	101
6.3	酸碱平衡	102
6.3.1	水的解离与溶液的 pH	102
6.3.2	弱酸弱碱的解离平衡	103
6.3.3	影响酸碱平衡的因素	104
6.3.4	分布分数与分布曲线	107
6.3.5	物料平衡、电荷平衡和质子平衡	110
6.3.6	酸碱溶液 pH 的计算	113
6.4	缓冲溶液	120
6.4.1	缓冲溶液的定义、缓冲原理与 pH 的计算	120
6.4.2	缓冲容量和缓冲范围	122
6.4.3	缓冲溶液的选择和配制	124
6.5	酸碱滴定法基本原理	126
6.5.1	酸碱指示剂	126
6.5.2	酸碱滴定曲线和指示剂的选择	128
6.5.3	多元酸、多元碱的滴定	134
6.5.4	滴定误差	135
6.5.5	酸碱滴定法的应用	138

习题	140
第7章 配位反应与配位滴定法	142
7.1 配合物的基本概念	142
7.1.1 配合物的定义	142
7.1.2 配合物的组成	143
7.1.3 配合物的命名	144
7.1.4 配合物的类型	145
7.2 配合物的价键理论	150
7.2.1 配合物价键理论的基本要点	150
7.2.2 外轨型配合物和内轨型配合物	150
7.2.3 配合物的磁性	151
7.3 配合物的晶体场理论	152
7.3.1 配合物晶体场理论的基本要点	152
7.3.2 晶体场理论的应用	154
7.4 配合物的配位解离平衡	156
7.4.1 配合物的平衡常数	156
7.4.2 配位反应的副反应系数	158
7.4.3 条件稳定常数	161
7.5 配合物的应用	163
7.5.1 在化学领域中的应用	163
7.5.2 在工农业领域中的应用	163
7.5.3 在生命科学和医学领域中的应用	163
7.6 配位滴定法	164
7.6.1 EDTA 滴定法基本原理	164
7.6.2 终点误差及准确滴定的条件	169
7.6.3 配位滴定中的酸度控制	172
7.6.4 提高配位滴定选择性的方法	174
7.6.5 配位滴定方式和应用	177
习题	178
第8章 氧化还原反应与氧化还原滴定法	180
8.1 氧化还原反应	180
8.1.1 氧化数	180
8.1.2 氧化还原反应的基本概念	181
8.1.3 氧化还原反应方程式的配平	182
8.2 原电池和电极电势	184
8.2.1 原电池	184
8.2.2 电极电势	186
8.2.3 能斯特方程	188
8.2.4 影响电极电势的因素	189
8.3 氧化还原反应的方向和程度	193

8.3.1	氧化还原反应的方向	193
8.3.2	氧化还原反应的程度	194
8.4	氧化还原反应的速率	195
8.4.1	有效碰撞与活化能	196
8.4.2	浓度对反应速率的影响	196
8.4.3	温度对反应速率的影响	196
8.4.4	催化剂对反应速率的影响	196
8.5	元素电势图及其应用	197
8.5.1	元素电势图	197
8.5.2	元素电势图的应用	197
8.6	氧化还原滴定法	199
8.6.1	氧化还原滴定法基本原理	199
8.6.2	氧化还原滴定前的预处理	203
8.6.3	常用的氧化还原滴定法	204
	习题	211
第9章	沉淀反应与沉淀滴定法和重量分析法	214
9.1	沉淀溶解平衡	214
9.1.1	固有溶解度和溶度积	214
9.1.2	溶度积与溶解度的相互换算	215
9.1.3	溶度积规则	216
9.1.4	影响沉淀溶解度的因素	217
9.2	溶度积规则的应用	219
9.2.1	沉淀的生成	219
9.2.2	沉淀的溶解	221
9.2.3	沉淀的转化	225
9.2.4	分步沉淀	226
9.3	沉淀滴定法	226
9.3.1	莫尔法	226
9.3.2	福尔哈德法	227
9.3.3	法扬斯法	229
9.3.4	银量法的应用	230
9.4	重量分析法	231
9.4.1	重量分析法的分类及特点	231
9.4.2	重量分析法对沉淀的要求	232
9.4.3	影响沉淀纯净的因素	233
9.4.4	沉淀的形成与沉淀条件的选择	235
9.4.5	沉淀称量前的处理	238
9.4.6	重量分析结果的计算	238
9.4.7	重量分析法的应用	240
	习题	241

第 10 章 s 区元素 .....	243
10.1 s 区元素的通性 .....	243
10.1.1 碱金属与碱土金属的价电子层结构特点 .....	243
10.1.2 碱金属与碱土金属元素在自然界的主要存在形式 .....	243
10.2 碱金属与碱土金属的单质 .....	244
10.2.1 碱金属与碱土金属单质的物理性质 .....	244
10.2.2 碱金属与碱土金属单质的化学性质 .....	244
10.2.3 碱金属与碱土金属单质的制备 .....	246
10.3 碱金属与碱土金属的重要化合物 .....	247
10.3.1 氧化物 .....	247
10.3.2 氢氧化物 .....	248
10.3.3 碱金属与碱土金属的盐类 .....	250
10.3.4 离子晶体溶解性的变化规律 .....	253
习题 .....	253
第 11 章 p 区元素 .....	255
11.1 硼族元素 .....	255
11.1.1 硼族元素的通性 .....	255
11.1.2 硼族元素的单质 .....	256
11.1.3 硼族元素的重要化合物 .....	259
11.2 碳族元素 .....	264
11.2.1 碳族元素的通性 .....	264
11.2.2 碳族元素在自然界的存在形式 .....	264
11.2.3 碳族元素的单质 .....	265
11.2.4 碳族元素的氧化物 .....	269
11.2.5 Ge、Sn、Pb 的氢氧化物 .....	272
11.2.6 碳族元素的含氧酸及其盐 .....	273
11.2.7 碳族卤化物 .....	276
11.2.8 碳族元素的硫化物 .....	278
11.2.9 其他重要化合物 .....	278
11.3 氮族元素 .....	279
11.3.1 氮族元素的通性 .....	279
11.3.2 氮族元素在自然界的分布 .....	280
11.3.3 氮及其化合物 .....	280
11.3.4 磷及其化合物 .....	287
11.3.5 As、Sb、Bi 的化合物 .....	290
11.4 氧族元素 .....	292
11.4.1 氧族元素的通性 .....	292
11.4.2 氧族元素在自然界的分布 .....	292
11.4.3 氧族元素的单质 .....	293
11.4.4 氧族元素的氢化物 .....	295

11.4.5	金属硫化物	297
11.4.6	硫的氧化物	298
11.4.7	硫的含氧酸及其盐	299
11.5	卤族元素	304
11.5.1	卤族元素的通性	304
11.5.2	卤素在自然界的分布	304
11.5.3	卤素的单质	304
11.5.4	卤化氢与氢卤酸	307
11.5.5	卤化物	308
11.5.6	卤素的含氧酸及其盐	309
11.5.7	拟卤素及其盐	311
	习题	311
第 12 章	ds 区元素	315
12.1	铜副族元素	315
12.1.1	铜副族元素的通性	315
12.1.2	铜副族元素在自然界的分布	316
12.1.3	铜副族元素单质的物理性质	316
12.1.4	铜副族元素单质的化学性质	316
12.1.5	铜副族元素的重要化合物	318
12.2	锌副族元素	322
12.2.1	锌副族元素的通性	322
12.2.2	锌副族元素在自然界的分布	323
12.2.3	锌副族元素单质的物理性质	323
12.2.4	锌副族元素单质的化学性质	324
12.2.5	锌副族元素的重要化合物	325
	习题	329
第 13 章	d 区元素	331
13.1	d 区元素概述	331
13.1.1	过渡金属半径变化规律	331
13.1.2	过渡金属性质变化规律	331
13.1.3	过渡金属氧化态变化规律	332
13.1.4	过渡金属离子的颜色	332
13.1.5	形成配合物的能力	332
13.2	钛副族	332
13.2.1	钛副族元素的通性	332
13.2.2	Ti 的重要化合物	333
13.2.3	ZrO <sub>2</sub>	335
13.3	钒副族	336
13.3.1	钒副族元素的通性	336
13.3.2	V 的重要化合物	337

13.4	铬副族	338
13.4.1	铬副族元素的通性	338
13.4.2	Cr的重要化合物	339
13.5	锰副族	342
13.5.1	锰副族元素的通性	342
13.5.2	Mn的重要化合物	344
13.6	铁系元素	346
13.6.1	铁系元素概述	346
13.6.2	Fe的重要化合物	348
13.6.3	Co的重要化合物	352
13.6.4	Ni的重要化合物	354
13.7	铂系元素	356
13.7.1	铂系元素概述	356
13.7.2	Pd与Pt的重要化合物	357
	习题	358
第14章	f区元素	360
14.1	镧系元素	360
14.1.1	镧系元素的通性	360
14.1.2	镧系元素的单质与化合物	363
14.1.3	镧系元素的分离与提取	366
14.1.4	镧系元素的应用	367
14.2	锕系元素	368
14.2.1	锕系元素的通性	368
14.2.2	Th、U及其化合物	368
	习题	371
第15章	吸光光度法	372
15.1	吸光光度法的基本原理	372
15.1.1	吸光光度法的特点	372
15.1.2	物质对光的选择性吸收	372
15.1.3	朗伯-比尔定律	374
15.1.4	偏离朗伯-比尔定律的原因	376
15.2	显色反应和测量条件的选择	376
15.2.1	显色反应及显色剂	377
15.2.2	显色条件的选择	377
15.2.3	测量条件的选择	380
15.3	分光光度计	382
15.3.1	目视比色法	382
15.3.2	分光光度计的基本部件	382
15.3.3	分光光度计的类型	382
15.4	其他吸光光度法	383


15.4.1	示差吸光光度法	383
15.4.2	双波长吸光光度法	384
15.4.3	导数吸光光度法	385
15.5	吸光光度法的应用	385
15.5.1	单一组分测定	385
15.5.2	多组分分析	386
15.5.3	酸碱解离常数的测定	387
15.5.4	配合物组成及稳定常数的测定	388
	习题	389
第 16 章	定量分析中常用的分离方法	391
16.1	沉淀分离法	391
16.1.1	常量组分的沉淀分离	391
16.1.2	微量组分的共沉淀分离与富集	394
16.2	萃取分离法	395
16.2.1	基本原理	395
16.2.2	重要的萃取体系	397
16.2.3	萃取分离操作	398
16.3	色谱分离法	399
16.3.1	纸色谱法	399
16.3.2	薄层色谱法	400
16.3.3	色谱定性和定量分析	401
16.4	离子交换法	403
16.4.1	离子交换树脂	403
16.4.2	离子交换的基本原理	404
16.4.3	离子交换分离操作过程	405
16.5	其他方法	406
16.5.1	超临界流体萃取分离法	406
16.5.2	毛细管电泳分离法	407
16.5.3	微波萃取分离法	407
16.5.4	膜分离法	407
	习题	408
化学窗口		409
	【阅读 1】 诺贝尔和居里夫人	409
	【阅读 2】 人体中必需的微量元素——氟	409
	【阅读 3】 食品污染触目惊心	410
	【阅读 4】 硬水的利与弊	410
	【阅读 5】 新能源的开发	411
	参考文献	413
	附录	414
	附录 1 离子的活度系数	414

附录 2	弱酸、弱碱在水中的解离常数 .....	415
附录 3	常见的缓冲溶液 .....	417
附录 4	常用的酸碱混合指示剂及其变色范围 .....	417
附录 5	常见金属离子与 EDTA 形成配合物的稳定常数 .....	419
附录 6	常见配离子的累积稳定常数 .....	419
附录 7	EDTA 的酸效应系数 .....	421
附录 8	一些金属离子在不同 pH 的 $\lg\alpha_{M(OH)}$ 值 .....	422
附录 9	标准电极电势 .....	423
附录 10	条件电极电势 .....	426
附录 11	难溶电解质的溶度积 .....	427
附录 12	一些化合物的摩尔质量 .....	428






# 第 1 章 绪 论



世界是由物质组成的。化学则是人类用以认识和改造物质世界的重要方法和手段之一,它是一门历史悠久而又富有活力的学科,也是一门以实践为基础的学科,其成就是社会文明的重要标志。人类的生活水平能够不断改善和提高,化学的贡献举足轻重。



## 1.1 化学的重要性、研究内容和发展简史

### 1.1.1 化学的重要性及其研究内容

#### 1. 化学的重要性

化学是在原子、分子或离子层次上研究物质的组成、结构、性质、变化及其内在联系和外界变化条件的科学。它是一门中心学科,在科学发展中起着非常重要的作用。在长期的发展中,化学学科与其他自然科学的学科之间相互影响、相互渗透,不但推动了化学研究和化学理论的发展,还促进和推动了其他自然科学学科(如数学、物理学、生物学和材料学等)的发展。例如,核酸化学的研究成果使今天的生物学从细胞水平提高到分子水平,建立了分子生物学;对地球、月球和其他星体的化学成分的分析,得出了元素分布的规律,发现了星际空间有简单化合物的存在,为天体演化和现代宇宙学提供了实验数据,还丰富了自然辩证法的内容。

化学对人类社会作出的贡献是多方面和全方位的,从人类的衣食住行到高科技发展的各个领域,都留下了化学研究的足迹,人类享受着化学的成果。例如,衣着上,大量的化学合成纤维代替了天然纤维;各种化工颜料用于印染,使服装色彩更加绚丽。饮食上,各种化学添加剂的使用使食品的色、香、味更加诱人;由于在食品中强化了维生素等各种营养物质,食品营养更丰富。现代建筑更是离不开水泥、钢筋、涂料等合成材料。人们出行乘坐的交通工具也离不开化学材料和燃料。另外,在发展新材料学、新能源与可再生能源科学技术、生命科学技术、信息科学技术及有益于环境的高新技术中,化学都发挥了十分重要的作用。

#### 2. 化学的研究内容

化学研究的内容主要是物质的化学运动,即物质的化学变化的发生。化学变化的主要特征是生成了新的物质。化学的研究范围极其广泛,通常按研究对象或目的不同,化学可分为无机化学、有机化学、分析化学、物理化学、高分子化学等分支学科,见表 1-1。