



普通高等教育“十三五”规划教材

获中国石油和化学工业优秀出版物奖（教材奖）

无机及分析化学

王元兰 邓 斌 主编

WUJI
JI
FENXI
HUAXUE

第二版



化学工业出版社

普通高等教育“十三五”规划教材
获中国石油和化学工业优秀出版物奖（教材奖）

无机及分析化学

第二版

王元兰 邓 斌
段培高 王 枫 郭 鑫 王文磊



化学工业出版社

· 北京 ·

《无机及分析化学》(第二版)在第一版基础上进行修订。本书是根据高等院校教学要求,本着理论知识“必需、够用”的原则,对无机化学和分析化学教学内容进行适当地删选和融合,组成了一个全新的教学体系。主要内容包括分散体系、化学反应基本理论、物质结构基础、分析化学概论、酸碱平衡和酸碱滴定法、沉淀溶解平衡和沉淀滴定法、配位平衡和配位滴定法、氧化还原平衡和氧化还原滴定法、电势分析法、分光光度法及元素选述等内容。教材各章前均附有学习要求,各章后均附有知识拓展和精选的思考题与习题。为方便教学,本书配套有电子课件,思考题与习题也配有电子版参考答案等。

本书适用于生命科学、化工、材料、生物工程、环境科学、农学、医学、药学、轻工、食品、动物科学等专业,也可供其他相关专业人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

无机及分析化学/王元兰,邓斌主编.—2版.—北京:
化学工业出版社,2017.3

普通高等教育“十三五”规划教材

获中国石油和化学工业优秀出版物奖(教材奖)

ISBN 978-7-122-28905-6

I. ①无… II. ①王…②邓… 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(2017)第013994号

责任编辑:旷英姿

装帧设计:张辉

责任校对:宋夏

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:三河市航远印刷有限公司

装订:三河市瞰发装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张23 彩插1 字数549千字 2017年5月北京第2版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:46.00元

版权所有 违者必究

编写人员

主 编 王元兰 邓 斌

副主编 段培高 王 枫 郭 鑫 王文磊

编 委 (按姓氏笔画为序)

王 枫 (河南理工大学)

王元兰 (中南林业科技大学)

王文磊 (中南林业科技大学)

邓 斌 (湘南学院)

杨余芳 (韩山师范学院)

周崇松 (湘南学院)

段培高 (河南理工大学)

郭 鑫 (中南林业科技大学)

本书第一版自2015年出版以来,已在多所高等院校的非化工类专业的无机及分析化学教学中广泛使用,来自教学第一线的反馈信息表明:本教材的内容具有较好的系统性,编排科学、合理,便于教师系统实施教学,使学生易于学习和掌握课程要求的基本知识。但在使用过程中也发现一些问题需要改进,如有些章节顺序需要进行调整,物质平衡浓度的表示需更加规范和统一。为适应创新人才培养的需要和教材更新的原则,以及我们在教学实践中的经验和新的兄弟院校的加盟,决定在第一版的基础上,对本教材进行如下修改。

(1)教材基本保留第一版的编写系统和格局,但在内容上进行了适当调整和更新,更注重无机及分析化学的基础性和系统性,力图展现无机及分析化学发展的新趋势。

(2)考虑到学时和各专业对教学内容的要求,对部分内容进行了删减,并对相关章节顺序进行了调整。参照法定计量单位的国家标准和应用习惯,更改了一些符号及叙述方式,如物质的平衡浓度都统一采用相对浓度表示,如A物质的平衡浓度表示为 $[c(A)/c^\ominus]$ 。

(3)对每章后面的思考题和习题进行了部分删减,并附有习题参考答案(电子版),可以方便教师批阅作业和学生自学、复习。

(4)对知识拓展部分进行了部分更新。知识拓展重点介绍了无机及分析化学与其他学科交叉领域的热点问题和最新动态,为学生将无机及分析化学知识应用于其他领域打开了一扇窗,为学生将来在学科交叉领域进行创新打下基础。

(5)为方便教学,本书配套有电子课件,思考题与习题也配套有电子版参考答案。

(6)在编写过程中,考虑到各学校各专业的授课学时不尽相同,书中某些章节加有“*”号,便于不同的专业选用。

本书由王元兰、邓斌任主编,并负责全书的策划、编排和审订及最后的统稿、复核工作;段培高、王枫、郭鑫、王文磊任副主编,负责本书部分内容的核对。具体编写分工如下:王元兰编写绪论、第1、第2章及附录,段培高编写第3、第4章,郭鑫编写第5章,王文磊编写第6章,王枫编写第7、第10章,邓斌编写第8章,杨余芳编写第9章,周崇松编写第11章。

本书在编写过程中得到了中南林业科技大学、湘南学院、河南理工大学

和韩山师范学院化学教研室同仁的支持，特别是中南林业科技大学化学教研室的谢练武副教授及各位同仁提供了不少素材和修改建议，在此谨向他们致以诚挚的谢意。

鉴于水平有限，书中仍难免有不妥之处，敬请同行和读者批评指正。

编者

2017年1月

随着时代的前进和科学技术的发展,对高等教育的人才培养规格和质量提出了更高的要求。为配合国家高等教育的改革,培养基础扎实、知识面广、能力强、思维开阔的21世纪高素质创新人才,对高等学校的课程体系和教学内容进行改革就显得十分重要。无机及分析化学是按照新的课程体系,将原来的无机化学和分析化学两门课程的理论部分合并而成的一门新的课程。它是高等院校植物生产类、动物生产类、草业科学类、森林资源类、环境生态类、动物医学类、水产类以及生命科学、环境科学、食品科学、资源与环境科学、制药工程、林产化工等专业的一门重要基础课。

对于非化工类各专业的本科学生来说,学好无机及分析化学这门课程是十分重要的。本书考虑到农林、生物、环境、中医药类院校对本课程的要求及大学一年级学生的实际水平,在内容选择和章节安排上不仅保持了无机化学与分析化学课程的基础性、科学性、先进性和新颖性,同时体现了宏观和微观的结合、理论与实际的结合。主要内容包括分散体系(稀溶液、胶体)的基本知识和有关物质结构的基础知识与相关理论,定量化学分析的基础知识以及各种类型的化学平衡及其在滴定分析中的应用,常用仪器分析方法的介绍等。

本书在内容选编方面,有以下几个特点:

1. 注重理论联系实际和专业需要。本书重点以化学热力学和动力学作为研究化学问题的基本方法,通过对原子、分子结构的研究揭示物质变化的内在联系与规律,以溶液中四大平衡理论为主线,通过计算阐述化学变化的基本规律,并在此基础上讨论了化学分析的相关问题。同时,如分光光度法等仪器分析的相关内容在本书中也得到了相应的体现。这样既能激发学生的学习兴趣,又能拓展学生的知识面。

2. 为拓宽学生的视野,在每章后编写了知识拓展部分。知识拓展重点介绍了无机及分析化学与其他学科交叉领域的热点问题和最新动态,为学生将无机及分析化学知识应用于其他领域打开了一扇窗口。我们试图用这种方式将最新和最前沿的知识引进教材和课堂,为学生将来在学科交叉领域进行创新打下基础。

3. 本书在每章前均附有学习要求,每章后面精选了思考题与习题,并附有习题参考答案(电子版),可以方便教师批阅作业和学生自学、复习。

4. 为方便教师使用本教材进行教学,精心制作了与教材配套的多媒体教

学课件(PPT)。

5. 在编写过程中,考虑到各学校各专业的授课学时不尽相同,书中某些章节加有*号,便于不同学校和不同的专业选用。

6. 为配合理论教学,本教材配套有《无机及分析化学实验》。

本书由王元兰、邓斌任主编,并负责全书的策划、编排和审订及最后的统稿、复核工作,王文磊、郭鑫任副主编。参加编写工作的有中南林业科技大学的王元兰(绪论,第1、2、3、8章及附录)、王文磊(第4、6章)、郭鑫(第5章)、湘南学院的邓斌(第7章)、周崇松(第11章)、韩山师范学院的杨余芳(第9章)和湖南中医药大学的肖美凤(第10章)。

本书在编写过程中得到了中南林业科技大学、湘南学院和湖南中医药大学化学教研室同仁的支持,特别是中南林业科技大学的陈学泽教授和湘南学院的邓斌教授提供了不少素材和修改建议。化学工业出版社为本书的编辑出版做了大量的工作。在此谨向他们致以诚挚的谢意。

编写时也参考了兄弟院校的教材和公开出版的书刊及互联网上的相关内容,在此对相关的作者和出版社表示衷心的感谢。

本书在编写时力求做到开拓创新、尽善尽美,但由于我们水平有限,书中仍难免有不妥之处,敬请同行和读者批评指正。

编者

2015年3月

绪论 /001

第1章 分散系统 /003

1.1 分散系统及其分类	003
1.1.1 分散系统的概念	003
1.1.2 分散系统的分类	003
1.2 溶液	004
1.2.1 溶液的概念	004
1.2.2 溶液的浓度	004
1.3 稀溶液的依数性	007
1.3.1 溶液的蒸气压下降	007
1.3.2 溶液的沸点升高	009
1.3.3 溶液的凝固点下降	009
1.3.4 溶液的渗透压	010
1.3.5 稀溶液依数性的应用	012
1.4 电解质溶液	013
1.4.1 电解质溶液依数性的偏差	013
1.4.2 强电解质溶液理论简介	013
1.4.3 活度	014
1.4.4 离子强度 (I)	014
1.5 胶体溶液	015
1.5.1 分散度和比表面	015
1.5.2 表面能	015
1.5.3 吸附作用	016
1.5.4 溶胶的性质	017
1.5.5 溶胶粒子带电的原因	020
1.5.6 胶团结构	020
1.5.7 溶胶的稳定性和聚沉	021
1.5.8 高分子化合物溶液	023
*1.6 表面活性物质和乳浊液	024
1.6.1 表面活性物质	024
1.6.2 乳浊液	025
知识拓展	026

思考题与习题	026
--------	-----

第2章 化学反应基本理论 /029

2.1 化学热力学	029
2.1.1 基本概念	030
2.1.2 化学反应热	031
2.1.3 热化学	033
2.1.4 热化学方程式	034
2.1.5 标准摩尔生成焓	035
2.1.6 盖斯定律及其应用	036
2.2 化学反应的方向	037
2.2.1 自发过程	037
2.2.2 混乱度和熵	037
2.2.3 化学反应的熵变	039
2.2.4 吉布斯函数与化学反应的方向	040
2.2.5 标准摩尔生成吉布斯函数	041
2.3 化学动力学	043
2.3.1 化学反应的反应速率及表示方法	043
2.3.2 化学反应速率理论	044
2.3.3 影响反应速率的因素	046
2.4 化学平衡	050
2.4.1 可逆反应与化学平衡	050
2.4.2 平衡常数	051
2.4.3 多重平衡规则	054
2.4.4 化学平衡的移动	055
知识拓展	059
思考题与习题	060

第3章 物质结构基础 /063

3.1 原子的结构	063
3.1.1 氢原子光谱和玻尔模型	063
3.1.2 微观粒子的波粒二象性	065
3.1.3 海森堡测不准原理	066
3.1.4 原子轨道和波函数	066
3.2 核外电子运动状态	068
3.2.1 四个量子数	068
3.2.2 原子核外电子排布规律	070
3.2.3 元素周期律与核外电子排布的关系	073
3.3 元素性质的周期性	076

3.3.1	原子半径 (r_A)	076
3.3.2	电离能和电子亲和能	078
3.3.3	电负性	080
3.3.4	价电子和价电子层结构	081
3.4	化学键	081
3.4.1	离子键	081
3.4.2	价键理论	084
3.5	杂化轨道理论与分子轨道理论	089
3.5.1	杂化轨道理论要点	089
3.5.2	杂化轨道类型与分子空间构型	089
3.5.3	分子轨道理论	093
3.6	分子间力和氢键	097
3.6.1	分子的极性	097
3.6.2	分子间作用力	099
3.6.3	氢键	101
	知识拓展	103
	思考题与习题	106

第4章 分析化学概论 /109

4.1	分析化学概述	109
4.1.1	分析化学的任务和作用	109
4.1.2	分析方法的分类	110
4.1.3	定量分析的一般步骤	111
4.1.4	定量分析结果的表示	114
4.2	定量分析中的误差	115
4.2.1	真值	115
4.2.2	误差的来源及分类	116
4.2.3	误差的表示方法	117
4.2.4	提高分析结果准确度的方法	121
4.2.5	分析结果的数据处理	122
4.2.6	置信度与平均值的置信区间	124
4.3	有效数字及运算规则	126
4.3.1	有效数字	126
4.3.2	有效数字的修约	126
4.3.3	有效数字的运算规则	127
4.4	滴定分析	128
4.4.1	滴定分析概述	128
4.4.2	滴定分析法的分类	129
4.4.3	滴定反应的条件	129

4.4.4 滴定方式	129
4.4.5 标准溶液和基准物质	130
4.4.6 滴定分析的计算	131
知识拓展	133
思考题与习题	134

第5章 酸碱平衡与酸碱滴定法 /136

5.1 酸碱质子理论	136
5.1.1 酸碱定义	137
5.1.2 酸碱的共轭关系和共轭酸碱对	137
5.1.3 酸碱反应的实质	138
5.1.4 水的离子积和 pH	139
5.1.5 酸碱水溶液中的质子转移平衡和酸碱的解离常数	139
5.1.6 共轭酸碱对中 $K_a^\ominus$ 和 $K_b^\ominus$ 的关系	140
5.2 酸碱平衡	141
5.2.1 溶液中酸碱平衡的处理方法	141
5.2.2 溶液中弱酸、弱碱的解离平衡	142
5.2.3 同离子效应和盐效应	144
5.3 酸碱平衡中有关浓度计算	145
5.3.1 酸碱溶液中 pH 的计算	145
5.3.2 水溶液中酸碱组分不同型体的分布	150
5.4 缓冲溶液	153
5.4.1 缓冲作用原理	153
5.4.2 缓冲溶液 pH 的计算	154
5.4.3 缓冲容量和缓冲范围	155
5.4.4 缓冲溶液的配制和应用	155
5.5 酸碱指示剂	156
5.5.1 酸碱指示剂的变色原理	156
5.5.2 酸碱指示剂的变色范围	157
5.5.3 影响酸碱指示剂变色范围的主要因素	158
5.5.4 混合指示剂	159
5.6 酸碱滴定法的基本原理	160
5.6.1 强酸与强碱的相互滴定	160
5.6.2 强碱(酸)滴定一元弱酸(碱)	163
5.6.3 多元酸和多元碱的滴定	167
5.7 酸碱滴定法的应用	170
5.7.1 酸碱标准溶液的配制和标定	170
5.7.2 应用实例	171
知识拓展	175

思考题与习题	176
--------	-----

第6章 沉淀溶解平衡和沉淀滴定法 /178

6.1 难溶电解质的溶度积常数及溶度积规则	178
6.1.1 溶度积常数	178
6.1.2 溶度积与溶解度的关系	179
6.1.3 同离子效应和盐效应	180
6.1.4 溶度积规则	181
6.2 沉淀的生成与溶解	182
6.2.1 沉淀的生成	182
6.2.2 分步沉淀	183
6.2.3 沉淀的溶解	185
6.2.4 沉淀的转化	186
* 6.3 沉淀滴定法	187
6.3.1 沉淀滴定法概述	187
6.3.2 莫尔法——用铬酸钾作指示剂确定滴定终点的银量法	187
6.3.3 佛尔哈德法——用铁铵矾 $[\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}]$ 作指示剂确定 滴定终点的银量法	188
6.3.4 法扬司法——用吸附指示剂确定滴定终点的银量法	189
6.3.5 银量法应用示例	190
6.3.6 沉淀滴定结果计算	191
* 6.4 重量分析法	192
6.4.1 沉淀重量分析法概述	192
6.4.2 影响沉淀的因素	193
6.4.3 沉淀条件的选择	194
6.4.4 沉淀的过滤与洗涤	196
6.4.5 沉淀的烘干或灼烧	197
6.4.6 重量分析结果的计算	197
知识拓展	198
思考题与习题	198

第7章 配位平衡与配位滴定法 /200

7.1 配位化合物的组成与命名	200
7.1.1 配位键	200
7.1.2 配位化合物的定义	201
7.1.3 配合物的组成	201
7.1.4 配合物的化学式和命名	204
7.2 配合物的价键理论	205
7.2.1 价键理论的基本要点	205

7.2.2	配合物的空间构型	205
7.2.3	外轨型和内轨型配合物	208
7.3	配位平衡	209
7.3.1	配合物的平衡常数	209
7.3.2	配位平衡的移动	211
7.4	螯合物	215
7.4.1	螯合物	215
7.4.2	螯合物的稳定性	215
7.4.3	螯合物的应用	216
7.5	EDTA 的性质	217
7.5.1	EDTA 的解离平衡	217
7.5.2	影响 EDTA 配合物稳定性的主要因素	218
7.5.3	EDTA 配合物的条件稳定常数	221
7.6	金属指示剂	221
7.6.1	金属指示剂的变色原理	221
7.6.2	金属指示剂应具备的条件	222
7.6.3	金属指示剂的选择	223
7.6.4	金属指示剂在使用中应注意的问题	223
7.7	配位滴定法	223
7.7.1	配位滴定曲线	224
7.7.2	准确滴定某一金属的条件	225
7.7.3	配位滴定中酸度的控制和酸效应曲线	226
7.8	配位滴定法的分类及干扰离子的消除	228
7.8.1	配位滴定法的分类	228
7.8.2	滴定干扰的消除	229
7.9	配位滴定的应用	230
7.9.1	EDTA 标准溶液的配制和标定	230
7.9.2	应用实例	231
	知识拓展	231
	思考题与习题	232

第8章 氧化还原平衡和氧化还原滴定法 /235

8.1	氧化还原反应的基本概念	235
8.1.1	氧化数	235
8.1.2	氧化还原反应	236
8.2	氧化还原反应方程式的配平	236
8.2.1	氧化数法	237
8.2.2	离子-电子法	238
8.3	原电池与电极电势	239

8.3.1	原电池和氧化还原反应	239
8.3.2	电极、电对和原电池符号	240
8.3.3	电极电势	241
8.4	影响电极电势的因素	245
8.4.1	能斯特方程	245
8.4.2	影响电极电势的因素	246
8.5	电极电势的应用	248
8.5.1	判断原电池的正、负极, 计算原电池的电动势	248
8.5.2	判断氧化剂和还原剂的相对强弱	249
8.5.3	判断氧化还原反应的方向	250
8.5.4	判断氧化还原反应的限度	251
8.5.5	测定某些化学平衡常数	252
8.6	元素电势图及其应用	253
8.6.1	元素电势图	253
8.6.2	元素电势图的应用	254
8.7	氧化还原滴定法	255
8.7.1	概述	255
8.7.2	氧化还原滴定曲线	257
8.7.3	氧化还原滴定指示剂	260
8.8	常用的氧化还原滴定方法	261
8.8.1	高锰酸钾法	262
8.8.2	重铬酸钾法	265
8.8.3	碘量法	266
	知识拓展	270
	思考题与习题	270

第9章 电势分析法 /274

9.1	电势分析法概述	274
9.1.1	电势分析法的基本原理	274
9.1.2	电势分析法的特点	275
9.1.3	指示电极与参比电极	275
9.2	电势分析法的应用	276
9.2.1	溶液 pH 的测定	276
9.2.2	其他离子活度(浓度)的测定	279
9.3	电势滴定法	282
9.3.1	电势滴定法的原理	282
9.3.2	电势滴定法终点的确定	282
9.3.3	电势滴定法的应用	283
	知识拓展	284

思考题与习题	284
--------	-----

第10章 分光光度法 /286

10.1 物质对光的选择性吸收	286
10.1.1 电磁波谱	286
10.1.2 光与物质的相互作用	287
10.1.3 吸收曲线	288
10.1.4 吸光光度法的特点	288
10.2 光吸收的基本定律	289
10.2.1 朗伯-比尔定律	289
10.2.2 吸光系数和摩尔吸光系数	289
10.2.3 偏离朗伯-比尔定律的因素	290
10.3 分光光度计	292
10.3.1 分光光度计的主要部件	292
10.3.2 分光光度计的类型	294
10.4 分光光度法分析条件的选择	295
10.4.1 显色反应及其条件的选择	295
10.4.2 吸光度范围的选择	298
10.4.3 参比溶液的选择	298
10.4.4 干扰及其消除方法	299
10.5 分光光度法的应用	299
10.5.1 单组分的测定	299
10.5.2 多组分定量方法	301
10.5.3 示差分光光度法	302
知识拓展	302
思考题与习题	303

第11章 元素选述 /305

11.1 s区元素	305
11.1.1 氢	305
11.1.2 碱金属和碱土金属	307
11.2 p区元素	309
11.2.1 硼族元素	309
11.2.2 碳族元素	311
11.2.3 氮族元素	314
11.2.4 氧族元素	316
11.2.5 卤素	317
11.3 d区元素	321
11.3.1 过渡元素的通性	321

11.3.2 铬副族	321
11.3.3 锰副族	323
11.3.4 铁系元素	323
11.4 ds 区元素	325
11.4.1 铜族元素	325
11.4.2 锌族元素	330
知识拓展	335
思考题与习题	336

附录 /338

附录 1 基本物理常数表	338
附录 2 单位换算	338
附录 3 一些物质的标准生成焓、标准生成 Gibbs 函数和标准熵 (298.15K)	338
附录 4 一些水合离子的标准生成焓、标准生成 Gibbs 函数和标准熵	341
附录 5 难溶化合物溶度积 (298.15K)	342
附录 6 配合物的稳定常数	343
附录 7 金属离子与氨羧螯合剂形成的配合物的稳定常数	345
附录 8 标准电极电势表 (298.15K)	346
附录 9 一些氧化还原电对的条件电势 (298.15K)	348
附录 10 分子量表	349

参考文献 /352

元素周期表