



“十二五”江苏省高等学校重点教材

总主编 姚天扬 孙尔康

无机及分析化学

主 编 许兴友 王济奎



南京大学出版社



“十二五”江苏省高等学校重点教材

编号: 2013-2-051

无机及分析化学

总主编 姚天扬 孙尔康

主 编 许兴友 王济奎

副主编 田宗城 黄 芳 吴东辉

参 编 (按姓氏笔画为序)

朱小红 陈 丰 杨华玲

商艳芳 蒯海伟

主 审 姚 成



南京大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

无机及分析化学 / 许兴友,王济奎主编. —南京:
南京大学出版社,2014.7

高等院校化学化工教学改革规划教材

ISBN 978-7-305-13658-0

I. ①无… II. ①许… ②王… III. ①无机化学—教材
②分析化学—教材 IV. ①O61 ②O65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 170802 号

出版发行 南京大学出版社

社 址 南京市汉口路 22 号

邮编 210093

出版人 金鑫荣

丛 书 名 高等院校化学化工教学改革规划教材

书 名 无机及分析化学

总 主 编 姚天扬 孙尔康

主 编 许兴友 王济奎

责任编辑 陈济平 蔡文彬

编辑热线 025-83596997

照 排 江苏南大印刷厂

印 刷 南京紫藤制版印务中心

开 本 787×960 1/16 印张 29.75 字数 647 千

版 次 2014 年 7 月第 1 版 2014 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-305-13658-0

定 价 54.00 元

网 址: <http://www.njupco.com>

官方微博: <http://weibo.com/njupco>

官方微信号: njupress

销售咨询热线: (025)83594756

* 版权所有,侵权必究

* 凡购买南大版图书,如有印装质量问题,请与所购

图书销售部门联系调换

编委会

总主编 姚天扬(南京大学)

孙尔康(南京大学)

副总主编 (按姓氏笔画排序)

王 杰(南京大学)

左晓兵(常熟理工学院)

石玉军(南通大学)

许兴友(淮阴工学院)

邵 荣(盐城工学院)

周诗彪(湖南文理学院)

郎建平(苏州大学)

钟 秦(南京理工大学)

赵宜江(淮阴师范学院)

赵 鑫(苏州科技学院)

姚 成(南京工业大学)

姚开安(南京大学金陵学院)

柳闽生(南京晓庄学院)

唐亚文(南京师范大学)

曹 健(盐城师范学院)

编 委 (按姓氏笔画排序)

马宏佳

王济奎

王龙胜

王南平

许 伟

朱平华

华万森

华 平

李 琳

李心爱

李巧云

李荣清

李玉明

沈玉堂

吴 勇

汪学英

陈国松

陈景文

陆 云

张莉莉

张 进

张贤珍

罗士治

周益明

赵朴素

赵登山

宣 婕

夏昊云

陶建清

缪震元

序

教材建设是高等学校教学改革的重要内容,也是衡量教学质量提高的关键指标。高校化学化工基础理论课教材在近几年教学改革中取得了丰硕成果,编写了不少有特色的教材或讲义,但就其内容而言基本上大同小异,在编写形式和介绍方法以及内容的取舍等方面不尽相同,充分体现了各校化学基础理论课的改革特色,但大多数限于本校自己使用,面不广、量不大。由于各校化学基础课教师相互交流、相互讨论、相互学习、相互取长补短的机会少,各校教材建设的特色得不到有效推广,不能实施优质资源共享;又由于近几年教学经验丰富的老师纷纷退休,年轻教师走上教学第一线,特别是江苏高校广大教师迫切希望联合编写有特色的化学化工理论课教材,同时希望在编写教材的过程中,实现教师之间相互教学探讨,既能实现优质资源共享,又能加快对年轻教师的培养。

为此,由南京大学化学化工学院姚天扬、孙尔康两位教授牵头,以地方院校为主,自愿参加为原则,组织了南京大学、南京理工大学、苏州大学、南京师范大学、南京工业大学、南京邮电大学、南通大学、苏州科技学院、南京晓庄师院、淮阴师范学院、盐城工学院、盐城师范学院、常熟理工学院、淮海工学院、淮阴工学院、江苏第二师范学院、南京大学金陵学院、南理工泰州科技学院等18所江苏省高等院校,同时吸收了解放军第二军医大学、湖北工业大学、华东交通大学、湖南文理学院、衡阳师范学院、九江学院等6所省外院校,共计24所高等学校的化学专业、应用化学专业、化工专业基础理论课一线主讲教师,共同联合编写“高等院校化学化工教学改革规划教材”一套,该系列教材包括《无机化学(上、下册)》、《无机化学简明教程》、《有机化学(上、下册)》、《有机化学简明教程》、《分析化学》、《物理化学(上、下册)》、《物理化学简明教程》、《化工原理(上、下册)》、《化工原理简明教程》、《仪器分析》、《无机及分析化学》、《大学化学(上、下册)》、

《普通化学》、《高分子导论》、《化学与社会》、《化学教学论》、《生物化学简明教程》、《化工导论》等 18 部。

该系列教材适合于不同层次院校的化学基础理论课教学任务需求,同时适应不同教学体系改革的需求。

该系列教材体现如下几个特点:

1. 系统介绍各门基础理论课的知识点,突出重点,突出应用,删除陈旧内容,增加学科前沿内容。

2. 该系列教材将基础理论、学科前沿、学科应用有机融合,体现教材的时代性、先进性、应用性和前瞻性。

3. 教材中充分吸取各校改革特色,实现教材优质资源共享。

4. 每门教材都引入近几年相关的文献资料,特别是有关应用方面的文献资料,便于学有余力的学生自主学习。

该系列教材的编写得到了江苏省教育厅高教处、江苏省高等教育学会、相关高校化学化工系以及南京大学出版社的大力支持和帮助,在此表示感谢!

该系列教材已被评为“十二五”江苏省高等学校重点教材。

该系列教材是由高校联合编写的分层次、多元化的化学基础理论课教材,是我们工作的一项尝试。尽管经过多次讨论,在编写形式、编写大纲、内容的取舍等方面提出了统一的要求,但参编教师众多,水平不一,在教材中难免会出现一些疏漏或错误,敬请读者和专家提出批评和指正,以便我们今后修改和订正。

编委会
2014 年 5 月于南京

前 言

近年来,我国高等教育的结构发生了巨大的变化。一些大学通过合并使专业、学科更为齐全,有的学校同时兼具理、工、农、医科等专业,但无机及分析化学作为一门基础课程仍是各自为政的局面,为了巩固高等教育结构调整的成果,更有利于培养学生的能力,因此编写非化学类理、工、农、医等相关专业本科生通用的无机及分析化学教材非常必要。

本教材的主要目的是使非化学类专业的学生在学习无机及分析化学课程后,能掌握最基本的化学原理和定量化学分析的方法,并能用这些原理和方法来观察、思考和处理实际问题,为今后的专业学习、科学研究和生产实践打下基础。因此,本教材首先从宏观上介绍分散体系(稀溶液、胶体)的基本性质和化学反应的基本原理(能量变化、反应速率、反应方向、反应的平衡移动),进而从微观上介绍物质结构(原子、分子、晶体)的基本知识。然后简述定量化学分析的基础知识,论述溶液中各种类型的化学平衡以及在滴定分析中的应用,并对最常用的几种仪器分析法作了简介。最后介绍重要的元素和复杂物质的分离和富集。本教材删减了无机化学和分析化学中重复的内容,合并了相似的内容,增加了仪器分析的内容,以适应当前的教学要求。合并相关章节后,突出了主题,减少了篇幅,能适应一个学期内完成本课程的学时需求。各专业对化学的要求侧重面会有所不同,教师可以根据实际情况对教材进行适当的取舍,部分内容可安排学生自学。

为适应高等教育与国际接轨的发展趋势,本教材中的绝大部分专业术语以中英文两种文字给出,同时贯彻中华人民共和国国家法定计量单位,采用国家标准(GB 3102.8—93)所规定的符号和单位。

本教材的编写得到了江苏省高等教育学会的大力支持,2013年入选“十二五”江苏省高等学校重点教材。本书由许兴友、王济奎任主编,田宗城、黄芳和吴东辉任副主编,参加本书编写工作的有许兴友(淮阴工学院,绪论、第二章、第三章),王济奎(南京工业大学,第四章),田宗城(湖南文理学院,第六章),黄芳(南京晓庄学院,第十一章),吴东辉(南通大学,第一章、第七章),蒯海伟(淮阴工学院,第八章),朱小红(淮阴工学院,第九章),杨华玲(南通大学,第十章),商艳芳(南通大学,第十二章),陈丰(苏州科技学院,第五章)。南京工业大学姚成教授主审全书。

限于编者水平,书中肯定会有诸多不尽如人意甚至错讹之处,敬请读者和专家不吝指正。

目 录

绪 论	1
第 1 章 物质的聚集状态	4
1.1 分散系	5
1.2 气体	5
1.2.1 理想气体状态方程	5
1.2.2 道尔顿分压定律	6
1.3 溶液浓度的表示方法	8
1.3.1 物质的量及其单位	8
1.3.2 物质的量浓度	8
1.3.3 质量摩尔浓度	9
1.4 稀溶液的通性	9
1.4.1 溶液的蒸气压下降	9
1.4.2 溶液的沸点升高与凝固点降低	10
1.4.3 溶液的渗透压力	13
1.5 胶体溶液	15
1.5.1 溶胶的制备	16
1.5.2 溶胶的性质	17
1.5.3 胶团结构和电动电势	18
1.5.4 溶胶的稳定性与聚沉作用	20
1.6 高分子溶液和乳状液	21
1.6.1 高分子溶液	21
1.6.2 乳状液	22
思考题	23
习题	23

第2章 化学反应的一般原理	26
2.1 基本概念	26
2.1.1 化学反应进度	26
2.1.2 系统和环境	29
2.1.3 状态和状态函数	29
2.1.4 过程与途径	30
2.1.5 热和功	30
2.1.6 热力学能与热力学第一定律	31
2.2 热化学	32
2.2.1 化学反应热效应	32
2.2.2 盖斯定律	34
2.2.3 反应焓变的计算	35
2.3 化学反应的方向与限度	39
2.3.1 化学反应的自发性	39
2.3.2 熵	41
2.3.3 化学反应方向的判据	42
2.3.4 标准摩尔生成吉布斯函数与标准摩尔反应吉布斯函数变	43
2.4 化学平衡	45
2.4.1 可逆反应与化学平衡	45
2.4.2 平衡常数	46
2.4.3 平衡常数与标准摩尔吉布斯函数变	50
2.4.4 影响化学平衡的因素——平衡移动原理	53
2.5 化学反应速率	56
2.5.1 化学反应速率的概念	56
2.5.2 反应历程与基元反应	57
2.5.3 反应速率理论	60
2.5.4 影响化学反应速率的因素	62
2.6 化学反应一般原理的应用	66
思考题	67
习题	68
第3章 定量分析基础	72
3.1 分析化学的任务和作用	72

3.2 定量分析方法的分类	73
3.2.1 化学分析方法	73
3.2.2 仪器分析方法	73
3.3 定量分析的一般过程	74
3.3.1 定量分析的一般过程	74
3.3.2 分析结果的表示方法	75
3.4 定量分析中的误差	76
3.4.1 准确度和精密度	76
3.4.2 定量分析误差产生的原因	77
3.4.3 误差的减免	78
3.5 分析结果的数据处理	79
3.5.1 平均偏差和标准偏差	80
3.5.2 平均值的置信区间	81
3.5.3 可疑数据的取舍	83
3.5.4 分析结果的数据处理与报告	84
3.6 有效数字及运算规则	85
3.6.1 有效数字	85
3.6.2 有效数字的运算规则	86
3.7 滴定分析法概述	87
3.7.1 滴定分析法的分类	88
3.7.2 滴定分析法对化学反应的要求和滴定方式	88
3.7.3 基准物质和标准溶液	89
3.7.4 滴定分析中的计算	91
思考题	92
习题	93

第4章 酸碱平衡与酸碱滴定法 96

4.1 酸碱理论	96
4.1.1 酸碱质子理论	97
4.1.2 酸碱电子理论	98
4.2 弱酸弱碱的解离平衡	99
4.2.1 解离常数	100
4.2.2 酸碱水溶液 pH 的计算	102
4.3 缓冲溶液	111

4.3.1	缓冲原理	111
4.3.2	缓冲溶液 pH 的计算	111
4.3.3	缓冲容量和缓冲区间	113
4.4	酸碱平衡体系中型体分布	113
4.4.1	分布分数及计算公式	113
4.4.2	分布曲线	116
4.5	酸碱滴定法及应用	118
4.5.1	酸碱指示剂	119
4.5.2	酸碱滴定曲线	122
4.5.3	准确滴定和分步滴定的判据	126
4.5.4	酸碱滴定的应用	126
	思考题	129
	习题	129
第 5 章	沉淀溶解平衡与沉淀滴定法	132
5.1	难溶电解质的溶解平衡	132
5.1.1	溶度积常数	133
5.1.2	溶度积与溶解度的相互换算	134
5.1.3	溶度积的化学热力学计算	135
5.1.4	溶度积规则	136
5.2	沉淀溶解平衡的移动	137
5.2.1	影响难溶电解质溶解度的因素	137
5.2.2	沉淀的溶解	139
5.3	溶度积规则的应用	141
5.3.1	沉淀的生成	141
5.3.2	分步沉淀	142
5.3.3	沉淀的转化	144
5.4	沉淀滴定法和重量分析法	144
5.4.1	滴定曲线	144
5.4.2	银量法	146
5.4.3	重量分析法	150
	思考题	152
	习题	153

第 6 章 氧化还原反应	155
6.1 氧化还原反应的基本概念	155
6.1.1 氧化和还原	155
6.1.2 氧化数	156
6.2 氧化还原方程式的配平	157
6.2.1 氧化数法*	157
6.2.2 离子电子法	158
6.3 电极电势	160
6.3.1 原电池	160
6.3.2 电极电势	161
6.3.3 能斯特方程	164
6.3.4 原电池的电动势与 $\Delta_r G$ 的关系	165
6.4 电极电势的应用	167
6.4.1 计算原电池的电动势	167
6.4.2 判断氧化还原反应进行的方向	168
6.4.3 选择合适的氧化剂和还原剂	170
6.4.4 判断氧化还原反应进行的次序	171
6.4.5 判断氧化还原反应进行的程度	171
6.4.6 求溶度积常数	172
6.5 元素电势图及其应用	174
6.6 氧化还原反应速率及其影响因素	177
6.6.1 氧化还原反应速率	177
6.6.2 影响氧化还原反应速率的因素	177
6.7 氧化还原滴定法	179
6.7.1 氧化还原滴定法概述	179
6.7.2 氧化还原滴定法基本原理	180
6.4.3 氧化还原预处理	182
6.4.4 氧化还原滴定法的分类及应用示例	183
思考题	187
习题	188
第 7 章 物质结构基础	192
7.1 核外电子运动状态	192

7.1.1	氢原子光谱和玻尔理论	192
7.1.2	微观粒子的波粒二象性	194
7.1.3	氢原子核外电子的运动状态	196
7.2	多电子原子结构	200
7.2.1	屏蔽效应和钻穿效应	200
7.2.2	原子核外电子排布	201
7.2.3	原子结构和元素周期律	205
7.3	化学键理论	208
7.3.1	离子键	208
7.3.2	共价键	209
7.3.3	金属键	212
7.4	多原子分子的空间构型	213
7.4.1	杂化轨道理论	213
7.4.2	价层电子对互斥理论	217
7.4.3	分子间力和氢键	219
7.5	共价型物质的晶体	222
7.5.1	原子晶体	223
7.5.2	分子晶体	223
7.6	离子晶体	224
7.6.1	决定离子化合物性质的因素——离子的特征	224
7.6.2	离子晶体的晶格能	225
7.6.3	离子极化	226
7.7	多键型晶体	228
思考题		229
习题		230

第8章 配位化合物与配位滴定

233

8.1	配位化合物的组成和定义	233
8.1.1	配位化合物的组成	233
8.1.2	配位化合物的定义	235
8.2	配位化合物的类型和命名	236
8.2.1	配位化合物的类型	236
8.2.2	配位化合物的命名	239
8.3	配位化合物的化学键理论	240

8.3.1	价键理论	240
8.3.2	晶体场理论	242
8.4	配合物的解离平衡	245
8.4.1	配位平衡常数	245
8.4.2	逐级稳定常数	246
8.4.3	配合物稳定常数的应用	246
8.5	配位滴定法	249
8.5.1	配位滴定法概述	249
8.5.2	配合物的条件稳定常数	250
8.5.3	配位滴定曲线	252
8.5.4	配位滴定中酸度的控制	254
8.5.5	配位滴定的指示剂	255
8.5.6	配位滴定的方式和应用示例	256
8.5.7	提高配位滴定选择性的方法	257
	思考题	259
	习题	259

第9章 仪器分析法选介

9.1	紫外-可见分光光度法	262
9.1.1	概述	263
9.1.2	光的吸收定律——朗伯-比尔定律	265
9.1.3	紫外-可见分光光度计及测定方法	268
9.1.4	显色反应及其影响因素	272
9.1.5	紫外-可见分光光度法的误差和测量条件的选择	274
9.1.6	紫外-可见分光光度法应用实例	276
9.2	电位分析法	280
9.2.1	概述	280
9.2.2	离子选择性电极	282
9.2.3	直接电位法	286
9.2.4	电位滴定法	290
9.3	原子吸收分光光度法	293
9.3.1	概述	293
9.3.2	基本原理	294
9.3.3	原子吸收分光光度计	295

9.3.4 定量分析方法	298
9.3.5 原子吸收法的特点和应用	299
9.4 色谱分析法	300
9.4.1 概述	300
9.4.2 色谱分析法的原理	300
9.4.3 色谱定性和定量分析	303
9.4.4 气相色谱仪及气相色谱法的特点	305
9.4.5 高效液相色谱仪及高效液相色谱法的特点	307
思考题	308
习题	309
第 10 章 重要元素及其化合物	311
10.1 s 区元素及其重要化合物	312
10.1.1 s 区元素通性	313
10.1.2 s 区元素的重要化合物	315
10.1.3 碱金属的应用	324
10.2 p 区元素及其重要化合物	325
10.2.1 卤素	326
10.2.2 氧族元素	334
10.2.3 氮族元素	340
10.2.4 碳族元素	348
10.2.5 硼族元素	353
10.3 d 区元素	356
10.3.1 通性	357
10.3.2 铬的重要化合物	358
10.3.3 锰的重要化合物	360
10.3.4 铁、钴、镍的重要化合物	362
10.4 ds 区元素	367
10.4.1 通性	368
10.4.2 铜族元素	368
10.4.3 锌族元素	372
10.4.4 化学元素与人体健康	375
10.4.5 f 区元素	378
思考题	380

习题	381
第 11 章 常见离子的定性分析	384
11.1 无机定性分析概述	384
11.1.1 定性分析进行的条件	384
11.1.2 鉴定反应的灵敏度和选择性	385
11.1.3 空白试验和对照试验	387
11.1.4 分别分析和系统分析	387
11.2 常见阳离子的分析	388
11.2.1 常见阳离子与常用试剂的反应	388
11.2.2 常见阳离子的系统分组	390
11.2.3 常见阳离子的硫化氢系统分析法	391
11.3 常见阴离子的基本性质和鉴定	398
11.3.1 阴离子的分析特性	398
11.3.2 分析试液的制备	399
11.3.3 阴离子的初步试验	400
11.3.4 阴离子第 I 组(SO_4^{2-} 、 SO_3^{2-} 、 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ 、 PO_4^{3-} 、 CO_3^{2-})	401
11.3.5 阴离子第 II 组(Cl^- 、 Br^- 、 I^- 、 S^{2-})	402
11.3.6 阴离子第 III 组(NO_3^- 、 NO_2^- 、 Ac^-)	403
思考题	404
习题	405
第 12 章 化学中常用的分离方法	406
12.1 沉淀分离法	407
12.1.1 无机沉淀剂沉淀分离法	407
12.1.2 有机沉淀剂沉淀分离法	409
12.1.3 痕量组分的共沉淀分离和富集	410
12.2 溶剂萃取分离法	411
12.2.1 萃取分离的基本原理	411
12.2.2 重要的萃取体系	414
12.2.3 萃取条件的选择	415
12.3 挥发和蒸馏分离法	416
12.4 离子交换法	416
12.4.1 离子交换树脂的种类和性质	417

12.4.2	离子交换亲和力	419
12.4.3	离子交换分离操作过程	419
12.4.4	离子交换法应用示例	421
12.5	层析分离法	422
12.5.1	柱层析分离法	422
12.5.2	纸层析分离法	423
12.5.3	薄层色谱分离法	424
12.6	新的分离和富集方法简介	426
12.6.1	超临界流体萃取分离法	426
12.6.2	毛细管电泳分离法	427
12.6.3	固相萃取分离法	428
12.6.4	膜分离法	429
	思考题	429
	习题	430
附 录		431
附录 I	本书采用的法定计量单位	431
附录 II	基本物理常量和本书使用的一些常用量的符号与名称	432
附录 III	一些常见单质、离子及化合物的热力学函数	433
附录 IV	常见弱酸、弱碱在水中的解离常数(298.15 K)	443
附录 V	一些配位化合物的稳定常数与金属离子的羟合效应系数	444
附录 VI	难溶化合物的溶度积常数(298.15 K)	449
附录 VII	标准电极电势(298.15 K)	450
	部分习题参考答案	455
	主要参考书目	457