

21世纪高等院校教材

上海市高校本科教育高地建设项目

无机化学

上海师范大学生命与环境科学学院 组编

竺际舜 主编



科学出版社

www.sciencep.com

21 世纪高等院校教材
上海市高校本科教育高地建设项目

无机化学

上海师范大学生命与环境科学学院 组编
竺际舜 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书为“上海市高校本科教育高地建设项目”配套教材。

全书包括绪论、21 章及 2 个专题。前 9 章介绍元素周期律、近代物质结构理论、化学热力学、化学动力学、化学平衡、氧化还原及配位化学等基本原理;后 12 章介绍周期表中各族常见元素离子、化合物的主要性质、鉴定方法、结构及用途等。各章含教学要求、基本内容、习题和实验探究等内容。

本书可作为普通高等师范院校化学专业本、专科学生学习无机化学课程的教材,也可用作综合类、理工类院校化学专业以及成人教育学生的无机化学或普通化学教材,还可用作中学教师及化学工作者进修的教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

无机化学/竺筼舜主编;上海师范大学生命与环境科学学院组编. —北京:科学出版社,2008

21 世纪高等院校教材·上海市高校本科教育高地建设项目

ISBN 978-7-03-021549-9

I. 无… II. ①竺…②上… III. 无机化学-高等学校-教材 IV. O61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 044466 号

责任编辑:杨向萍 廖忠博 / 责任校对:鲁 素
责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

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>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 6 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2008 年 6 月第一次印刷 印张:34 插页:1

印数:1—4 000 字数:663 000

定价:48.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

编者的话

本书是“上海市高校本科教育高地建设项目”配套教材。

本书用通俗易懂的语言介绍了无机化学的基本概念,深入浅出地探讨了无机化学的基本原理,旨在使学生掌握元素周期律、近代物质结构理论、化学热力学、化学动力学和氧化还原、配位平衡等基本原理的基础知识及重要元素、离子、化合物的主要性质、鉴定方法、结构及用途等,注重提高学生对一般无机化学问题进行理论分析和计算的能力,在科学思维与创新能力上得到训练。本书也注重与中学化学教材的内容紧密衔接及与后续课程的联系。

本书具有以下特点:

- (1) 适应中学化学教学新课标的要求,突出师范院校教材的特征。
- (2) 力求使无机化学基本概念的介绍简明易懂,化学基本原理的探讨深入浅出。注意联系当今社会的热门话题,对一般的无机化学习题进行了理论分析和计算。各章重要的化学名词附有英文。
- (3) 注意与后续课程内容的协调。基本原理的讲授主要用于解释元素的性质。
- (4) 增加了两个专题。鼓励学生在无机化学学习过程中寻找一些小专题,查阅一些参考文献,做一些归纳与小结,组织“化学沙龙”交流讨论,这样能更准确、更深刻地理解本书的内容,掌握无机化学的特点和研究方法以及探索科学的学习方法。
- (5) 习题后编写实验探究,利用身边的材料,通过实验加深感性认识,激发学习兴趣,启迪创新思维。

本书可与科学出版社出版的《无机化学习题精解》(第二版)(竺际舜主编,2006年)和《无机化学学习指导》(竺际舜主编,2006年)配套使用。此外,本书还配套出版多媒体教学课件,包含课堂教学的PPT文件与实验探究录像,并可提供教师手册以辅助教师备课及课堂演示。

本书由上海师范大学生命与环境科学学院组编,竺际舜任主编,朱龙章任副主编,华东师范大学、东北师范大学、南京师范大学、北京理工大学和上海师范大学的主讲教师共同编写完成。参加执笔的有竺际舜(上海师范大学,绪论、第2、11、12、18、19章),龚剑(东北师范大学,第1、3、15章),余锡宾(上海师范大学,第4、5章),朱龙章(上海师范大学,第6、7章),黄如丹(北京理工大学,第8章),何其庄(上海师范大学,第9章),乐翠娣(华东师范大学,第10、16章和专题二),王麟生

(华东师范大学,第 13、14、17 章),吴惠霞(上海师范大学,第 20、21 章),王程杰(华东师范大学,各章实验探究)和包建春(南京师范大学,专题一)。全书由竺际舜统稿、修改和定稿,经上海师范大学杨德壬教授、朱福森教授和王则民教授审阅并提出了许多宝贵的修改意见。李钰敏、顾鹏鹄、张珏、崔昊亮、孙卿等参与书稿的整理和校订工作。科学出版社从本书的策划到审稿、编辑、出版做了大量的工作,本书的全体作者向他们表示诚挚的谢意。

此外,在本书编写过程中,编者参考了兄弟院校的教材和公开出版的文献,在此对有关的作者表示衷心的感谢。

由于编者的水平有限,书中的错误和不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2008 年 1 月

目 录

编者的话

绪论	1
0.1 化学的特征	1
0.2 无机化学的发展	2
0.3 如何学好无机化学	3
第1章 原子结构和元素周期律	5
1.1 核外电子的运动状态	5
1.1.1 核外电子运动的量子化特性——氢原子光谱和玻尔理论	5
1.1.2 核外电子运动的波粒二象性	7
1.1.3 核外电子运动状态的描述	9
1.1.4 核外电子运动状态特点小结	13
1.2 原子核外电子排布和元素周期律	13
1.2.1 多电子原子的能级	13
1.2.2 核外电子排布	15
1.2.3 原子结构与元素周期系的关系	19
1.3 元素基本性质的周期性	21
1.3.1 原子半径	21
1.3.2 电离能 I	23
1.3.3 电子亲和能 E_A	23
1.3.4 电负性 χ	24
习题	25
【实验探究】 人造“鬼火”	26
第2章 分子结构	27
2.1 化学键参数与分子的性质	27
2.1.1 化学键参数	27
2.1.2 分子的性质	30
2.2 离子键	32
2.2.1 离子键的本质和特性	32
2.2.2 离子型化合物的形成	33

2.2.3 离子型化合物生成过程的能量变化	34
2.3 共价键理论	36
2.3.1 现代价键理论	36
2.3.2 杂化轨道理论	39
2.4 分子轨道理论简介	43
2.4.1 分子轨道理论的基本要点	43
2.4.2 分子轨道的形成	45
2.4.3 分子轨道的能级	45
2.4.4 分子轨道中电子的排布	46
2.5 金属键和键性过渡	48
2.5.1 金属键理论	48
2.5.2 键型过渡	49
2.6 分子间作用力和氢键	49
2.6.1 分子间作用力的产生	50
2.6.2 分子间作用力对物质性质的影响	51
2.6.3 氢键	52
习题	55
【实验探究】 用微波炉做极性、非极性分子的鉴别	56
第3章 晶体结构	58
3.1 晶体的特征和类型	58
3.1.1 晶体的特征	58
3.1.2 晶体的类型	59
3.2 离子晶体	60
3.2.1 离子晶体的特征	60
3.2.2 离子晶体的结构类型	61
3.2.3 离子晶体物质的化学式	61
3.3 原子晶体	62
3.4 分子晶体	63
3.5 金属晶体	63
3.5.1 金属晶体的特征	63
3.5.2 金属晶体的紧密堆积	63
3.6 混合型晶体	67
3.7 晶体的缺陷	68
3.7.1 点缺陷	68

3.7.2 非整比化合物	69
3.8 原子半径	71
3.9 离子极化	72
3.9.1 离子的极化作用和变形性	72
3.9.2 离子的极化率	74
3.9.3 离子极化对化学键型的影响	74
3.9.4 离子极化对化合物性质的影响	74
习题	76
【实验探究】 晶体化学暖袋	76
第4章 化学热力学基础	78
4.1 引言	78
4.1.1 系统(或体系)与环境	78
4.1.2 状态和状态函数	79
4.1.3 过程	80
4.1.4 相	80
4.2 热力学第一定律	80
4.2.1 热和功	80
4.2.2 热力学能	82
4.2.3 标准状态	82
4.3 焓	83
4.3.1 焓与焓变	83
4.3.2 标准摩尔生成焓	83
4.3.3 标准摩尔燃烧焓(或燃烧热)	84
4.3.4 化学反应焓变	85
4.4 赫斯定律	88
4.4.1 热化学方程式	88
4.4.2 赫斯定律的应用	90
4.5 自发过程和熵	90
4.5.1 自发过程	91
4.5.2 熵	91
4.6 自由能	94
4.6.1 吉布斯自由能判据	94
4.6.2 标准摩尔生成吉布斯自由能	95
4.6.3 $\Delta_r G_m^\ominus(T)$ 与化学平衡常数	96

习题	98
【实验探究】 熵变引发的冷胀热缩——牛皮筋的胀缩	99
第5章 化学动力学基础	101
5.1 化学反应速率的概念	101
5.1.1 化学反应速率的定义和表示方法	101
5.1.2 平均速率和瞬时速率	102
5.2 浓度对反应速率的影响	103
5.2.1 化学反应速率方程	104
5.2.2 建立速率方程的方法——初始速率法	105
5.2.3 有关速率方程的计算	106
5.3 温度对化学反应速率的影响	107
5.3.1 阿伦尼乌斯方程	108
5.3.2 阿伦尼乌斯方程的应用	109
5.4 催化剂对化学反应速率的影响	111
5.5 反应机理简介	112
5.5.1 基元反应	112
5.5.2 反应分子数	112
5.5.3 复杂反应的速率方程式的导出	113
5.6 反应速率理论简介	114
习题	115
【实验探究】 化学振荡反应	117
第6章 化学平衡	119
6.1 气体定律	119
6.1.1 气体分子运动论的基本要点	119
6.1.2 理想气体状态方程式及其应用	120
6.1.3 混合气体分压定律	121
6.1.4 气体的扩散——格拉罕姆扩散定律	123
6.2 化学平衡	124
6.2.1 可逆反应和化学平衡	124
6.2.2 化学平衡常数	125
6.3 化学平衡的移动	130
6.3.1 浓度对化学平衡的影响	130
6.3.2 压强对化学平衡的影响	131
6.3.3 温度对化学平衡的影响	133

习题	134
【实验探究】 碘时钟实验	136
第7章 酸碱平衡和沉淀溶解平衡	138
7.1 酸碱理论	138
7.1.1 阿伦尼乌斯酸碱电离理论	138
7.1.2 布朗斯台德-劳莱酸碱质子理论	139
7.1.3 路易斯酸碱电子理论	142
7.2 溶液的酸碱性	143
7.2.1 水的解离平衡	143
7.2.2 溶液的酸度	143
7.2.3 拉平效应和区分效应	144
7.3 电解质的解离平衡	145
7.3.1 一元弱酸、弱碱的解离平衡	145
7.3.2 多元弱酸的解离	148
7.3.3 强电解质溶液	150
7.4 同离子效应和缓冲溶液	152
7.4.1 同离子效应	152
7.4.2 缓冲溶液	153
7.5 盐类的水解	155
7.5.1 弱酸强碱盐	155
7.5.2 弱碱强酸盐	157
7.5.3 弱酸弱碱盐	157
7.5.4 水解平衡的移动	158
7.6 沉淀-溶解平衡	159
7.6.1 溶度积常数	159
7.6.2 沉淀的生成	161
7.6.3 沉淀的溶解	165
7.6.4 分步沉淀	166
7.6.5 沉淀的转化	168
习题	169
【实验探究】 示温涂料	170
第8章 氧化还原反应和电化学	172
8.1 氧化还原的基本概念及其反应方程式配平	172
8.1.1 氧化数	172

8.1.2 氧化还原的基本概念和化学方程式的配平	173
8.2 氧化还原反应和电极电势	176
8.2.1 氧化还原反应和电子转移	176
8.2.2 电极电势差	178
8.3 标准电极电势	179
8.3.1 标准氢电极及标准电极电势的测定	179
8.3.2 电极的类型及标准电极电势表	181
8.4 影响电极电势的因素	182
8.4.1 影响标准电极电势的因素	183
8.4.2 能斯特方程	184
8.4.3 影响电极电势的外部因素	186
8.5 原电池电动势与氧化还原反应平衡	188
8.5.1 原电池的电动势与化学反应吉布斯自由能变的关系	188
8.5.2 判断氧化还原反应进行的方向	189
8.5.3 原电池的标准电动势与氧化还原反应平衡常数的关系	190
8.5.4 判断氧化还原反应进行的程度及电势法求非氧化还原反应标准平衡常数	191
8.6 化学电源和电解	192
8.6.1 常见化学电源简介	192
8.6.2 电解的原理	196
习题	199
【实验探究】 氢-氧燃料电池	202
第9章 配位化合物	204
9.1 配位化合物的基本概念	204
9.1.1 配位化合物的定义	204
9.1.2 复盐	205
9.1.3 配位化合物组成	205
9.1.4 配位化合物的命名	206
9.1.5 螯合物	207
9.2 配位化合物中的化学键理论	208
9.2.1 配合物价键理论	208
9.3 配合物结构的晶体场理论简介	213
9.3.1 晶体场的基本理论要点和 d 轨道的分裂	213
9.3.2 分裂能	215

9.3.3 晶体场理论应用	216
9.4 配合物的稳定性	220
9.4.1 配合物在溶液中的稳定性和稳定常数	220
9.4.2 稳定常数的应用	223
9.4.3 配位平衡的移动	227
9.4.4 配位化合物的应用	229
习题	232
【实验探究】 法老的“飞蛇”	234
第 10 章 氢和稀有气体	236
10.1 氢	236
10.1.1 氢的同位素及物理性质	236
10.1.2 氢的化学性质和氢化物	237
10.1.3 氢能源	240
10.2 稀有气体	241
10.2.1 稀有气体的发现简史	241
10.2.2 稀有气体的存在和分离	241
10.2.3 稀有气体的性质和用途	242
10.2.4 稀有气体化合物	243
10.2.5 价层电子对互斥理论简介	243
10.2.6 稀有气体化合物的性质和结构	247
习题	249
【实验探究】 氢气喷泉实验	250
第 11 章 卤族元素	252
11.1 卤素的通性	252
11.2 卤素单质	254
11.2.1 卤素单质的物理性质	254
11.2.2 卤素单质的化学性质	255
11.2.3 卤素单质的制备	258
11.3 卤化氢和氢卤酸	260
11.3.1 卤化氢和氢卤酸的性质	260
11.3.2 卤化氢的制备	262
11.4 卤化物、卤素互化物、多卤化物	263
11.4.1 卤化物	263
11.4.2 卤素互化物	264

11.4.3 多卤化物	265
11.5 卤素的含氧化合物	265
11.5.1 卤氧化合物	265
11.5.2 卤素的含氧酸及其盐	266
11.6 拟卤素	270
11.6.1 拟卤素与卤素性质的对比	270
11.6.2 氰、氢氰酸和氰化物	270
11.6.3 硫氰和硫氰酸盐	271
习题	271
【实验探究】淀粉遇碘未必都显蓝色	273
第12章 氧族元素	275
12.1 氧族元素的通性	275
12.2 氧和臭氧	276
12.2.1 氧	276
12.2.2 臭氧	278
12.3 过氧化氢	279
12.3.1 过氧化氢的结构和制备	279
12.3.2 过氧化氢的性质和用途	280
12.4 硫及其化合物	282
12.4.1 硫的同素异形体	282
12.4.2 硫化物和多硫化物	283
12.4.3 硫的含氧化合物	284
12.5 硒和碲	289
习题	289
【实验探究】滴水生火和吹气生火	290
第13章 氮族元素	292
13.1 氮族元素的通性	292
13.2 氮及其化合物	293
13.2.1 氮	293
13.2.2 氮的氢化物	294
13.2.3 氮的含氧化合物	297
13.3 磷及其化合物	301
13.3.1 单质磷	301
13.3.2 磷的氢化物、卤化物和硫化磷	303

13.3.3 磷的含氧化合物	305
13.4 砷、锑、铋	309
13.4.1 砷分族单质	310
13.4.2 砷分族的氢化物和卤化物	311
13.4.3 砷分族的氧化物及其水合物	312
13.4.4 砷分族的硫化物和硫代酸盐	313
习题	314
【实验探究】 自制敏感微型地雷	316
第 14 章 碳族元素	317
14.1 碳族元素的通性	317
14.2 碳	318
14.2.1 碳的单质	318
14.2.2 碳的化学性质	321
14.2.3 碳的化合物	321
14.3 硅	328
14.3.1 单质硅的性质、用途和制备	328
14.3.2 硅烷	329
14.3.3 硅的卤化物和氮化物	330
14.3.4 硅的氧化物、硅酸和硅酸盐	332
14.4 锗分族	335
14.4.1 锗、锡、铅的冶炼、性质和用途	335
14.4.2 锗、锡、铅的化合物	337
习题	341
【实验探究】 硅烷气体的自燃	342
第 15 章 硼族元素	343
15.1 概述	343
15.2 硼	344
15.2.1 单质硼的结构和性质	344
15.2.2 硼烷的分子结构和性质	346
15.2.3 硼氢配合物	347
15.2.4 卤化物和氟硼酸	348
15.2.5 硼酸和硼酸盐	348
15.3 铝	350
15.3.1 概述	350

15.3.2 氧化铝和氢氧化铝	350
15.3.3 铝盐和铝酸盐	352
15.3.4 金属铝的冶炼	352
15.3.5 铝的卤化物和硫酸盐	353
15.3.6 铝和铍的相似性	353
15.4 镓分族	354
习题	355
【实验探究】 铝器表面染色	356
第 16 章 碱金属和碱土金属	358
16.1 碱金属和碱土金属的通性	358
16.2 碱金属和碱土金属的单质	359
16.2.1 存在和制备	359
16.2.2 单质的物理性质	361
16.2.3 单质的化学性质	361
16.2.4 碱金属负离子	363
16.3 碱金属和碱土金属的化合物	364
16.3.1 氧化物	364
16.3.2 氢氧化物	368
16.3.3 氢化物	369
16.3.4 盐类	370
16.3.5 配位化合物	374
16.4 对角线规则和次级周期性	374
16.4.1 锂、铍的特殊性	374
16.4.2 对角线规则	375
16.4.3 元素的次级周期性	376
习题	376
【实验探究】 液态合金	378
第 17 章 铜族和锌族元素	379
17.1 铜族元素的通性	379
17.1.1 基本性质	379
17.1.2 离子的极化作用	380
17.2 单质的物理和化学性质	381
17.2.1 单质的物理性质	381
17.2.2 单质的化学性质	381

17.3 铜族元素的主要化合物	382
17.3.1 氧化物及氢氧化物	382
17.3.2 卤化物	383
17.3.3 硫化物及硫酸盐	386
17.3.4 配合物	387
17.3.5 I A 族与 I B 族的对比	388
17.4 锌族元素	388
17.4.1 锌族元素的通性	388
17.4.2 单质的物理和化学性质	389
17.4.3 锌族元素的重要化合物	390
17.4.4 汞的化合物	392
17.4.5 II B 族元素与 II A 族元素性质的对比	395
习题	396
【实验探究】铜变“银”、银变“金”	397
第 18 章 过渡元素(一)	399
18.1 过渡元素的通性	399
18.1.1 过渡元素的原子结构	400
18.1.2 过渡元素的氧化态	400
18.1.3 过渡元素的原子和离子半径	401
18.1.4 单质的物理性质和化学性质	401
18.1.5 过渡元素含氧化合物的酸碱性	402
18.1.6 过渡元素水合离子的颜色	402
18.1.7 过渡元素的配位性质	403
18.2 钛分族	403
18.2.1 概述	403
18.2.2 钛的单质及其化合物	404
18.2.3 锆和铪	408
18.3 钒分族	408
18.3.1 概述	408
18.3.2 钒的单质及其化合物	409
18.3.3 铌和钽	410
18.4 铬分族	410
18.4.1 概述	410
18.4.2 铬的单质及其化合物	411

18.4.3 钼和钨及其化合物	415
18.4.4 同多酸和杂多酸及其盐	416
18.4.5 钼和钨的原子簇化合物	418
18.5 锰分族	418
18.5.1 概述	418
18.5.2 锰的单质及其化合物	419
18.5.3 锆和铪	422
习题	422
【实验探究】 六价铬检测饮酒量	424
第 19 章 过渡元素(二)	426
19.1 铁系元素的通性	426
19.2 铁系元素的重要化合物	428
19.2.1 铁、钴、镍的氧化物和氢氧化物	428
19.2.2 铁、钴、镍的盐	431
19.2.3 铁、钴、镍的配合物	433
19.3 铂系元素简介	439
19.3.1 铂系元素的通性	439
19.3.2 铂系元素的重要化合物	440
习题	442
【实验探究】 随温变色	444
第 20 章 镧系元素和铪系元素	445
20.1 镧系元素	445
20.1.1 镧系元素的通性	445
20.1.2 镧系金属	449
20.1.3 镧系元素的重要化合物	450
20.1.4 稀土元素的应用	453
20.2 铪系元素	454
20.2.1 铪系元素的通性	454
20.2.2 钍和铀的化合物	456
习题	457
第 21 章 核化学	458
21.1 原子核的稳定性	458
21.1.1 原子核的稳定性	458
21.1.2 原子核的结合能	459